

VŠB – technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2016

Bc. Matěj Frydрых

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Stanovení spolehlivostních charakteristik
a nákladů LCC sanitárního modulu pro vozidla

Determination of Reliability Characteristics
and LCC of Vehicle Sanitary Module

Student:

Bc. Matěj Frydrych

Vedoucí práce:

doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Datum odevzdání:

16. 5. 2016

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Matěj Frydrych**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie

Specializace: 20 Silniční doprava

Téma: Stanovení spolehlivostních charakteristik a nákladů LCC sanitárního modulu pro vozidla
Determination of Reliability Characteristics and LCC of Vehicle Sanitary Module

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popis modulu
2. Výpočetní metody pro stanovení spolehlivostních charakteristik a LCC
3. Stanovení spolehlivostních charakteristik a návrh údržbového plánu
4. Výpočet LCC
5. Technické a ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

Famfulík J. Spolehlivost pozemní dopravy Dostupné na: <http://www.vvvd.cz/m11-spolehlivost-pozemni-dopravy-26.html>
Podklady výrobce sanitárního modulu
TSI předpisy

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a konzultanta spolupracující firmy a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5. 2016

Bc. Marek Bzděch
.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16.5.2016

Bc. Matěj Frydrych

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Matěj Frydrych

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bedřicha Václavka 9/981, Ostrava, 700 30

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

FRYDRYCH, M. Stanovení spolehlivostních charakteristik a nákladů LCC sanitárního modulu pro vozidla: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2016, 69s. Vedoucí práce: Famfulík, J.

Diplomová práce se zabývá určením spolehlivostních charakteristik a výpočtem nákladů na životní cyklus sanitárního modulu pro vozidla, který byl vyráběn firmou VKV Praha s.r.o s pobočkou ve Studénce. V teoretické části práce je uveden základní úvod do statistické matematiky, problematiky spolehlivosti a výpočtu LCC. V praktické části je proveden výpočet spolehlivostních charakteristik součástí a je sestaven údržbový plán. Následně jsou vyčísleny náklady na údržbu a vypočtena hodnota LCC. Závěrem jsou uvedena doporučená opatření na snížení LCC.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

FRYDRYCH, M. Determination of Reliability Characteristics and LCC of Vehicle Sanitary Module: Diploma Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2016, 69p, Supervisor: Famfulík, J.

The thesis deals with determining the reliability of characteristics and calculating the life cycle of sanitary module for vehicles costs, which were manufactured by VKV Praha s.r.o by company branch situated in Studénka. The theoretical part provides a basic introduction to statistics, problems of reliability and LCC calculation. In the practical part is calculated the reliability characteristics of the components and created maintenance plan. After that there is a calculation of costs for maintenance and also value of LCC. In the end of the thesis are suggested measures for reducing LCC value.

Obsah

Seznam použitých zkratk	8
1 Úvod	9
2 Popis vybraného zařízení	10
3 Základní pojmy ve spolehlivosti	11
3.1 Etapy životního cyklu	11
3.2 Typy rozdělení pravděpodobnosti	12
3.2.1 Exponenciální rozdělení pravděpodobnosti	12
3.2.2 Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti	13
3.2.3 Odhady parametrů Weibullova rozdělení lineární regresí	15
3.3 Test dobré shody Kolmogorov-Smirnov	16
3.4 Metoda Monte Carlo	18
3.5 Zkušební plány	19
3.6 Náklady vznikající s požadovanou spolehlivostí výrobků	21
3.7 Údržbový plán	22
3.7.1 Dekompozice výrobku na funkční celky	23
3.7.2 Stanovení prostředků a obsahu údržby	24
3.7.3 Stanovení intervalů údržby	24
3.7.4 Sestavení plánu údržby	25
3.8 Optimalizace celkových nákladů na údržbu	25
3.9 Náklady na životní cyklus (LCC)	26
4 Stanovení spolehlivostních charakteristik	28
4.1 Dekompozice modulu	28
4.2 Data o poruchách	30
4.3 Výpočet spolehlivostních charakteristik	31
4.3.1 Výpočet charakteristik W2P rozdělení	34
4.3.2 Testování původu dat z vypočteného rozdělení	36
4.3.3 Výpočet charakteristik W3P rozdělení	37

4.3.4	Výpočet charakteristiky exponenciálního rozdělení pomocí t-plánu	39
4.4	Výpočet počtu poruch	40
4.5	Optimalizace údržby	40
5	Návrh údržbového plánu	44
5.1	Intervaly preventivní údržby	44
5.2	Úkony v jednotlivých stupních údržby	44
5.2.1	Stupeň údržby A1	45
5.2.2	Stupeň údržby A2	46
5.2.3	Stupeň údržby A3	47
5.2.4	Stupeň údržby A6	48
5.2.5	Stupeň údržby A12	48
5.2.6	Stupeň údržby A15	49
6	Výpočet LCC	50
6.1	Náklady na preventivní údržbu	50
6.1.1	Výpočet nákladů na provedení údržbového stupně A1	50
6.1.2	Výpočet celkových nákladů na preventivní údržbu	53
6.2	Náklady na údržbu po poruše	55
6.3	Náklady na logistiku údržby po poruše (LCC)	57
6.4	Výsledky LCC	58
7	Technicko-ekonomické zhodnocení	61
8	Závěr	64
	Seznam použité literatury	67
	Seznam příloh	68

Seznam použitých zkratk

c	Parametr polohy Weibullova rozdělení
D	Součásti dveří
D(T)	Rozptyl náhodné veličiny
D ₁	Testovací kritérium testu dobré shody Kolmogorov-Smirnov
D _{1max,p}	Kritická hodnota testu Kolmogorov-Smirnov s hladinou významnosti p.
e	Eulerovo číslo (2,71828)
E(T)	Střední hodnota náhodné veličiny
Elmag.	Elektromagnetický
ESI	Celky s poruchou s významným ekonomickým dopadem
Ex(λ)	Exponenciální rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny s parametrem λ
F(t)	Distribuční funkce náhodné veličiny (závislá na t)
f(t)	Hustota rozdělení pravděpodobnosti
FSI	Funkčně významné celky
H ₀	Nulová hypotéza
H ₁	Alternativní hypotéza k hypotéze nulové
ISO 9000:2000	Mezinárodní norma řízení kvality
k	Koeficient (směrnice přímky)
KS	Test dobré shody Kolmogorov-Smirnov
LCC	Life cycle cost (náklady na životní cyklus)
m	Parametr tvaru Weibullova rozdělení
M	Součásti mísy
MSI	Celky s poruchou s významným dopadem na provoz a údržbu
MTBF	Mean time between failure (střední doba mezi poruchami)
N	Celkový počet poruch
n _i	Pořadové číslo poruchy
PÚ	Preventivní údržba
q	Hodnota posunutí přímky od osy x
QSI	Celky s poruchou s významným dopadem na komfort cestujících
r	Počet poruch
R(t)	Doplňek k distribuční funkci náhodné veličiny, spolehlivost (závislá na t)
SSI	Celky poruchou ovlivňující bezpečnost nebo životní prostředí
t	Obecně zadaná hodnota náhodné veličiny u rozdělení pravděpodobnosti
t ₀	Parametr měřítka Weibullova rozdělení
T _{aku}	Celkový akumulovaný pracovní čas
TSI	Technické specifikace pro interoperabilitu
UIC	International Union of Railways (Mezinárodní železniční unie)
ÚpP	Údržba po poruše
V	Součásti tvořící vybavení modulu
VaOH	Vodní a odpadní hospodářství

1 Úvod

Moje diplomová práce pojednává o spolehlivostních charakteristikách a nákladech na životní cyklus (LCC) sanitárního modulu pro vozidla, jehož výrobcem je společnost VKV Praha s.r.o s pobočkou ve Studénce. Pro svou práci jsem zvolil jeden ze starších modulů vyráběných touto společností z důvodu předpokladu dostatečného rozsahu dat o poruchách. Tuto práci jsem pojal jako pilotní výpočet, který má poukázat na silné a slabé články zařízení. Cílem práce je vyčíslení nákladů na životní cyklus v provozních podmínkách České republiky. K dosažení tohoto cíle bude užito spolehlivostních výpočtů, které mají za úkol určit míru poruchovosti jednotlivých součástí pomocí statistické matematiky a v případech, kdy nebude možné užít empirických dat, bude využito expertní zkušenosti výrobce. Snahou diplomové práce je co nejvíce snížit náklady na údržbu modulu vytvořením vhodného plánu preventivní údržby, zjistit poměr mezi plánovanou údržbou a údržbou po poruše a navrhnout další opatření, která by mohla náklady ještě snížit. Přesahem této diplomové práce může být například užití některých částí v podobných výpočtech pro zcela nová zařízení obdobného typu a upravení sběru dat o poruchách z míst, kde jsou moduly opravovány. Celá výpočtová studie čerpá z teorie uvedené v teoretické části této práce, která především zahrnuje statistickou matematiku, teorii spolehlivosti a obnovy, a okrajově obsahuje ekonomickou stránku věci.

2 Popis vybraného zařízení

Diplomová práce se zabývá zkoumáním spolehlivostních charakteristik a výpočtem nákladů na životní cyklus (LCC) sanitárního modulu, který byl montován do železničních vozů řady 014 a 914. Funkční části tohoto modulu v závislosti na platné legislativě mohou být použity v různých dopravních prostředcích např. v silniční či letecké dopravě.

Vybraný modul byl vyráběn firmou VKV Praha s.r.o. s pobočkou ve Studénce v letech 2005 až 2011. Celkem bylo dodáno 236 těchto modulů, z toho 26 do vozů řady 014 a 210 do vozů řady 914. Všechny moduly splňují požadavky evropských norem, UIC i TSI standardů. Použité materiály splňují požadavky na dobrou údržbu a vysokou odolnost. [1]

Celý modul se skládá ze tří logických celků. První celek tvoří samotný modul, který tvoří vybavené stěny, podlaha a strop. Druhým celkem je vodní hospodářství, které se skládá z napouštěcího potrubí, vodojemu a vodovodních rozvodů. Třetí celek je tvořen odpadním hospodářstvím, které obsahuje odpadní potrubí z umyvadla a toalety, odpadní nádrž a vypouštěcí potrubí.

Z funkčního hlediska je však výhodnější rozdělit buňku následujícím způsobem. První skupinou je samostatná toaleta, druhou skupinu pak tvoří dveřní systém. Třetí skupinou pak je vodní a odpadní hospodářství modulu a do čtvrté skupiny pak je zařazeno veškeré komfortní vybavení modulu. Fotografie modulu je na obr. č. 2.1.



Obr. č. 2.1: Sanitární modul VKV 0160. [2]

3 Základní pojmy ve spolehlivosti

Výpočetní postupy a definice pojmů v této kapitole jsou definovány v doporučené literatuře [3] a [4], které jsou výtažkem z norem ČSN ISO 9000:2006 a ČSN IEC 60300-3-11. Formulace některých vět jsou použity z vlastní bakalářské práce [7]. Statistické výpočty jsou čerpány z literatury [8] a [9].

3.1 Etapy životního cyklu

Identifikace etap životního cyklu výrobku vychází z pozorování intenzity poruch, které se na výrobku vyskytují. Tato intenzita poruch se mění v souvislosti s využíváním výrobku. Z toho důvodu se vždy vztahuje k vhodnému výkonovému parametru. Takovým parametrem je nejčastěji doba používání nebo kilometrický proběh.

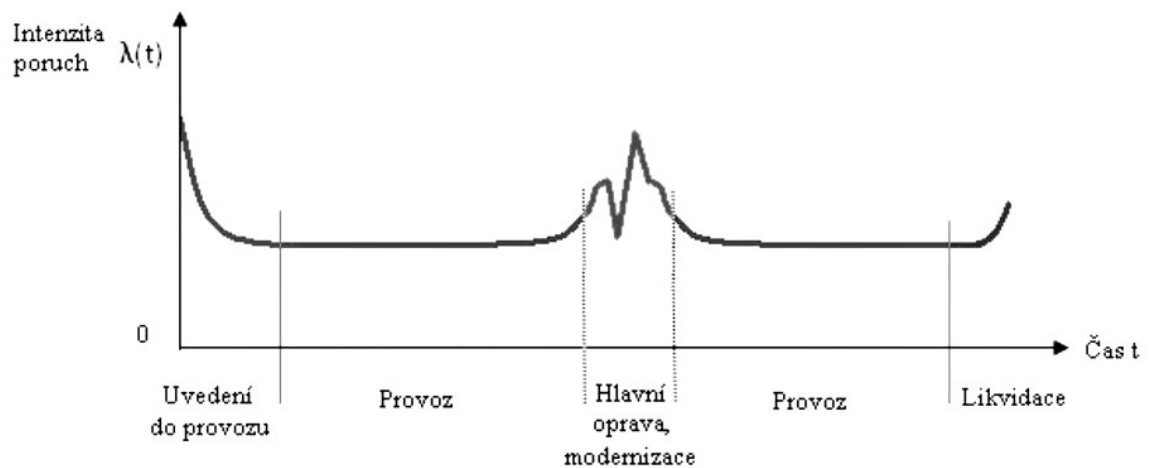
Vhodným vyjádřením průběhu života je vanová křivka. Tato křivka se skládá ze tří částí:

Doba záběhu – vyskytují se rané poruchy, jejichž intenzita s dobou provozu klesá. Jedná se o tzv. dětské nemoci, které vznikají již při konstrukci a výrobě. Tato fáze může až zcela vymizet, pokud se jedná o výrobky vyráběné hromadně či velkosériově.

Doba provozu – intenzita poruch se po předchozí fázi ustálí na konstantní hodnotě, využívá se vložená spolehlivost vozidla a poruchy vznikají z převážné většiny pouze působením náhodných vlivů. Tato fáze je nejdelší, a pokud je využíváno vhodného systému údržby, je zde možnost výrazných úspor a maximálního prodloužení této námi žádané fáze.

Doba dožívání – intenzita poruch roste, vlivem těchto poruch je převážně opotřebení, koroze, únava materiálu a vlivem těchto faktorů se neustále zvyšuje poruchovost výrobku, až dospěje do okamžiku, kdy se již daný výrobek nevyplatí udržovat. V tomto okamžiku je výrobek vyřazen a fyzicky zlikvidován.

Tvar vanové křivky ovlivňuje pak také fakt, že výrobek prošel generální opravou či značnou modernizací. Tím se prodlužuje celá délka životního cyklu. Vliv generální opravy nebo modernizace je znázorněn na obr. č. 3.1.



Obr. č. 3.1: Vanová křivka modernizovaného výrobku [1]

3.2 Typy rozdělení pravděpodobnosti

Z důvodu potřeby znalosti pravděpodobnosti poruch dílčích celků sanitárního modulu je nutné určit, z jakého rozdělení pravděpodobnosti získaná data pocházejí. Níže jsou popsány dvě nejdůležitější rozdělení pravděpodobnosti, které budou dále využívány. [3]

3.2.1 Exponenciální rozdělení pravděpodobnosti

Toto rozdělení se využívá, pokud potřebujeme popsat dobu do vzniku náhodného jevu v Poissonově procesu. U exponenciálního rozdělení pravděpodobnosti je charakteristické, že intenzita výskytu jevu je konstantní ($\lambda = \text{konst.}$), která je zároveň parametrem tohoto rozdělení. Exponenciální rozdělení se využívá pro popis spolehlivosti zařízení, u kterých se poruchy vyskytují náhodně, náhle a bez předchozího opotřebení, jako je například elektronika. Toto rozdělení lze též označovat jako $\text{Ex}(\lambda)$. Průběhy pravděpodobnostní funkce a distribuční funkce zobrazuje obr. č. 3.2.

Hustotu pravděpodobnosti pro exponenciální rozdělení pravděpodobnosti můžeme popsat vztahem:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.1)$$

Kde t je hodnota náhodné veličiny T [h] a λ je intenzita poruch [h^{-1}]

Distribuční funkce exponenciálního rozdělení má pak tvar:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.2)$$

Doplňk k distribuční funkci, tedy pravděpodobnost bezporuchového stavu, lze vypočítat jako:

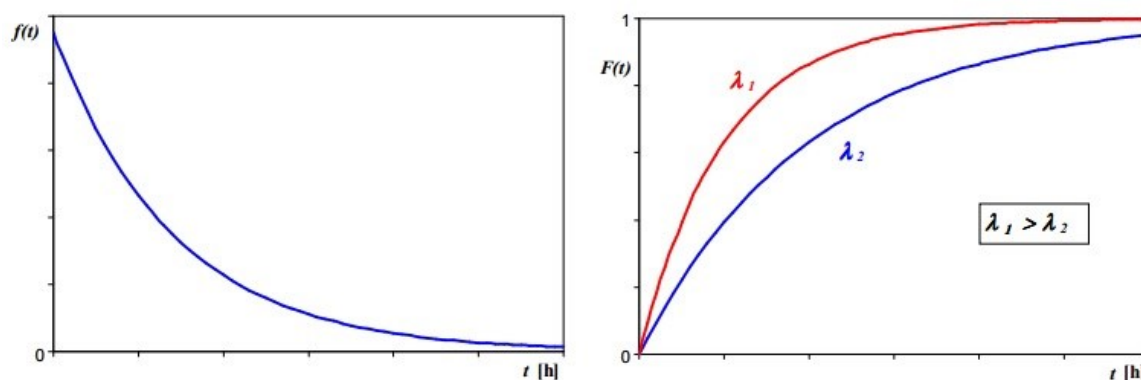
$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.3)$$

Pro střední hodnotu platí:

$$E(T) = \frac{1}{\lambda} \quad (3.4)$$

A pro rozptyl platí:

$$D(T) = \frac{1}{\lambda^2} \quad (3.5)$$



Obr. č. 3.2: Hustota pravděpodobnosti (vlevo) a distribuční funkce (vpravo) exponenciálního rozdělení [3]

3.2.2 Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti

Weibullovo rozdělení je velice často používané pro spolehlivostní výpočty z důvodu jeho vysoké variability, neboť správnou změnou jeho parametrů lze velice dobře nahrazovat i jiná rozdělení pravděpodobnosti.

Distribuční funkce Weibullova rozdělení je předepsána vztahem (graficky viz obr. č. 3.3):

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-c}{t_0}\right)^m} \quad (3.6)$$

Kde t je hodnota náhodné veličiny T [h], m [-] je parametr tvaru, t_0 [h] je parametr měřítka a c [h] je parametr polohy.

Pokud parametr polohy je roven nule, pak se toto rozdělení označuje jako Weibullovo dvouparametrické rozdělení pravděpodobnosti (W2P). Distribuční funkce se pak zjednoduší do tvaru:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.7)$$

Doplňěk k distribuční funkci pak udává pravděpodobnosti bezporuchového stavu:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.8)$$

Pro hustotu pravděpodobnosti W2P pak platí následující vztah (graficky viz Obr. č. 3.3)

$$f(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.9)$$

Intenzita poruch je závislý parametr, který se odvíjí od hodnoty parametru m . Změnou tohoto parametru lze simulovat intenzitu v různých fázích životního cyklu výrobku. Tuto závislost lze vyjádřit vztahem:

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \quad (3.10)$$

Dalšími důležitými charakteristikami je střední hodnota a rozptyl:

$$E(T) = T_s = t_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (3.11)$$

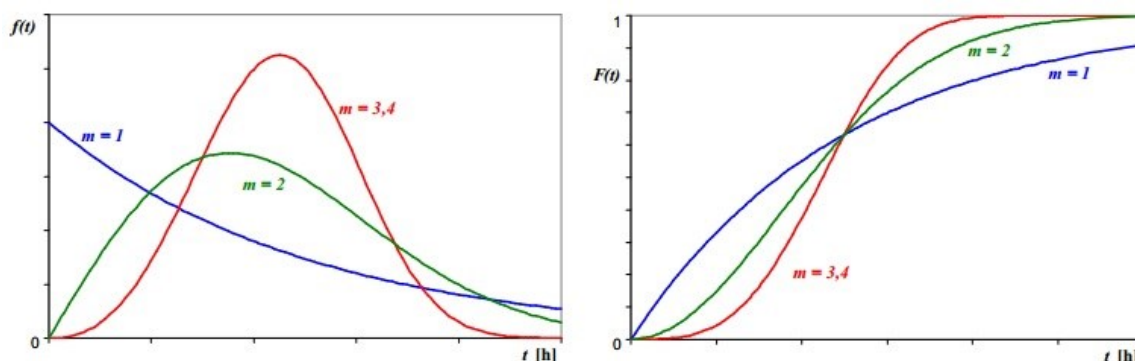
$$D(T) = t_0^2 \cdot \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right) \right] \quad (3.12)$$

Kde $\Gamma(n)$ je tzv. Gamma funkce a je definována vztahem:

$$\Gamma(n) = \int_0^{+\infty} e^{-x} \cdot x^{n-1} dx \quad (3.13)$$

Weibullovo rozdělení má tu vlastnost, že pokud parametr m má určitou hodnotu, Weibullovo rozdělení přechází v jiný druh rozdělení. Pokud:

$m = 1$, pak přechází v exponenciální rozdělení,
 $m = 2$, pak přechází v Rayleighovo rozdělení,
 $m = 3,4$ pak aproximuje normální rozdělení.



Obr. č. 3.3: Hustota pravděpodobnosti (vlevo) a distribuční funkce (vpravo) pro $W2P$ s různými hodnotami parametru m [1]

3.2.3 Odhady parametrů Weibullova rozdělení lineární regrese

Z důvodu velké variabilnosti Weibullova rozdělení je toto rozdělení vhodné jako výchozí volba pro odhad tvaru rozdělení náhodné veličiny. Z rovnice distribuční funkce pro Weibullovo rozdělení lze odvodit substituci pro rovnici lineární regrese a tím je pak možné přiřadit jednotlivým členům rovnice přímky lineární regrese parametry Weibullova rozdělení.

Z distribuční funkce pro dvouparametrické Weibullovo rozdělení tedy odvodíme rovnici pro výpočet lineární regrese:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.14)$$

$$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.15)$$

$$\ln(1 - F(t)) = -\left(\frac{t}{t_0}\right)^m \quad (3.16)$$

$$\ln(-\ln(1 - F(t))) = \ln\left(\frac{t}{t_0}\right)^m \quad (3.17)$$

$$\ln(-\ln(1 - F(t))) = m \cdot \ln(t) - m \cdot \ln(t_0) \quad (3.18)$$

Tato rovnice již částečně připomíná rovnici přímky a můžeme tedy provést substituci do tvaru:

$$Y = k \cdot x + q \quad (3.19)$$

Přičemž jednotlivé členy jsou nahrazeny takto:

$$Y = \ln(-\ln(1 - F(t))) \quad (3.20)$$

$$k \cdot x = m \cdot \ln(t) \quad (3.21)$$

$$q = m \cdot \ln(t_0) \quad (3.22)$$

Z poslední rovnice si ještě vyjádříme člen t_0 :

$$t_0 = e^{-\frac{q}{m}} \quad (3.23)$$

Dále pro výpočet bude potřeba odhad hodnoty distribuční funkce:

$$F(t) = \frac{n_i - 0,3}{N + 0,4} \quad (3.24)$$

Kde n_i je odhad mediánového pořadí a N je celkový počet poruch celku.

Z takto získaných dat lze sestavit bodový graf XY, kde zobrazíme závislost:

$$Y = f(\ln(t)) \quad (3.25)$$

Protože celá analýza je provedena pomocí počítačového programu Microsoft Excel 2016, regresní přímka a hodnota spolehlivosti této přímky je vykreslena automaticky. Poté z této rovnice přímky jsou odečteny parametry Weibullova rozdělení.

3.3 Test dobré shody Kolmogorov-Smirnov

Testy dobré shody se používají k testování matematické hypotézy, která zkoumá tvar rozdělení pravděpodobnosti zkoumané náhodné veličiny. Vedle známého testu χ^2 , který je velmi vhodný pro testování rozdělení vycházejících z náhodných výběrů o větším počtu naměřených hodnot, existuje ještě další test dobré shody, jehož autory jsou Andrej Nikolajevič Kolmogorov a Vladimir Ivanovič Smirnov. Tento test je na rozdíl od χ^2 vhodný spíše pro menší skupiny hodnot. Jelikož četnosti získaných dat skutečně nabývají u některých prvků opravdu nízkých hodnot, je vhodné užít právě tento test. [10]

U každého testu o shodě je potřeba určit nulovou hypotézu, o níž budeme rozhodovat, a k ní hypotézu alternativní. Nejčastěji se používají hypotézy v následujícím tvaru:

H_0 (testovaná hypotéza): Náhodný výběr pochází z rozdělení pravděpodobnosti s danými parametry.

H_1 (alternativní hypotéza): Náhodný výběr nepochází z rozdělení pravděpodobnosti s danými parametry.

Postup při testování náhodné veličiny je následující [5]:

- 1) Určí se distribuční funkce rozdělení výběru náhodné veličiny z naměřených dat. V praktické části je tato veličina označena jako $F_T(\Delta t)$ kvůli rozlišení od odhadované distribuční funkce W_{2P} .
- 2) Je vypočtena distribuční funkce teoretického W_{2P} rozdělení $F_{W_{2P}}(\Delta t)$.
- 3) Určení nulové hypotézy H_0 : Náhodný výběr pochází z rozdělení pravděpodobnosti s danými parametry.
- 4) Je vypočteno testovací kritérium podle vzorce:

$$D_1 = \sup |F_T - F_{W_{2P}}| \quad (3.26)$$

Kde D_1 je testovací kritérium, F_T jsou hodnoty distribuční funkce výběrového rozdělení pravděpodobnosti a $F_{W_{2P}}$ jsou hodnoty distribuční funkce teoretického W_{2P} .

- 5) Z tabulky (viz přílohu A) se určí kritická hodnota $D_{1max,p}$ (kde p je hladina významnosti) pro testovací kritérium podle počtu prvků testovaného výběru.
- 6) Porovná se testovací kritérium s jeho kritickou hodnotou:

$$D_1 < D_{1max,p} \quad (3.27)$$

Pokud tato nerovnost platí, pak nezamítáme hypotézu H_0 . V opačném případě zamítáme hypotézu H_0 ve prospěch alternativní hypotézy H_1 .

3.4 Metoda Monte Carlo

Metoda stochastického modelování Monte Carlo je často využívána k řešení funkcí se složitým průběhem křivky. Model soustavy vyjadřuje vztah mezi vstupními a výstupními veličinami. Z velkého souboru realizací stochastického modelu se statistickými postupy určují funkce rozdělení výstupních veličin.

Princip užití metody lze popsat těmito kroky:

- 1) Vypočítají se náhodné doby poruch a obnov prvků soustavy podle rozdělení pravděpodobnosti s využitím generátoru pseudonáhodných čísel. Pseudonáhodná čísla jsou transformována do podoby náhodných dob poruch a obnov.
- 2) Vypočítané náhodné doby poruch a obnov soustavy jsou dosazeny do algoritmu, pomocí něhož jsou vypočteny výstupní parametry soustavy, kterými jsou doby do poruchy a obnovy.
- 3) Postup v bodech 1 a 2 je mnohokrát opakován. Vzniká tak množina realizací modelu, ze které vznikne funkce parametrů rozdělení soustavy, střední hodnota, rozptyl a další statistické charakteristiky. Protože se jedná o metodu, která využívá konečný počet realizací, je výhodné provést tak vysoký počet realizací, aby výpočtová chyba byla na přijatelné úrovni.

Přesnost výpočtu se řídí zákonem velkých čísel, který říká, že rovnost průměrů hodnot náhodné veličiny a střední hodnoty této veličiny nastává při nekonečně velkém počtu hodnot.

Pro velké počty veličin má veličina aritmetického průměru normální rozdělení a s pravděpodobností větší než 0,997 platí:

$$|\bar{X} - E(\bar{X})| < \varepsilon = 3 \cdot \frac{\delta(X)}{\sqrt{N}} \quad (3.28)$$

Kde \bar{X} je aritmetický průměr veličiny, $E(X)$ je střední hodnota veličiny, ε je chyba měření, $\delta(X)$ je směrodatná odchylka náhodné veličiny a N je počet náhodných veličin.

3.5 Zkušební plány

Zkušební plány jsou součástí zkoušek spolehlivosti, které mají za cíl experimentální určení nebo ověření ukazatelů spolehlivosti. Zkoumaným jevem může být například doba do poruchy, doba údržby, logistické zpoždění a další ukazatele. Většinou se používají z důvodu nemožnosti testování celé populace výrobků, čímž by došlo k destrukci všech kusů.

Zkušební plán je soubor pravidel, která kodifikují způsob provedení zkoušky. Nedílnou součástí zkušebního plánu je i tzv. ekvivalentní (kumulativní) doba zkoušky T_{aku} , která udává součtovou dobu zkoušky pro všechny paralelně zkoušené výrobky.

Zkušební plány se dělí do čtyř základních skupin:

Úplný zkušební plán – v průběhu zkoušky dochází k poruše všech zkoušených výrobků. Výrobky nejsou obnovovány ani nahrazovány. Čas zkoušky končí poruchou posledního zkoušeného výrobku.

Zkušební plán cenzurovaný počtem poruch (r-plán) – v průběhu zkoušky dochází k poruchám předem daného počtu z celkového počtu zkoušených výrobků. U tohoto typu plánu je náhodnou veličinou doba do poruchy. Výrobky se po poruše buď neopravují, opravují nebo nahrazují.

Zkušební plán cenzurovaný dobou do poruchy (t-plán) – V průběhu zkoušky dochází k předem nedefinovanému počtu poruch, který tvoří náhodnou veličinu. Na rozdíl od a r-plánu je určen celková doba zkoušky τ_0 . Jakmile je dosažen tento čas, zkouška končí. Výrobky se po poruše buď neopravují, opravují nebo nahrazují.

Zkušební plán progresivně cenzurovaný – Jde o kombinovaný zkušební plán, který využívá jak omezení počtem poruch, tak dobou zkoušky.

Značení zkušebních plánů je uvedeno v následující tabulce č. 3.1.

Tabulka č. 3.1: Značení zkušebních plánů. [3]

n		Počet zkoušených výrobků
X Využití výrobků	U	Po poruše není výrobek opravován a je vyřazen ze zkoušky
	R	Po poruše je výrobek nahrazen novým
	M	Po poruše je výrobek opraven a pokračuje ve zkoušce
Y Typ plánu	r	Označení r-plánu, který je omezen maximálním počtem poruch r_0 [-] během zkoušky. V okamžiku, kdy dojde k r_0 -té
	t	Označení t-plánu, který je omezen dobou trvání zkoušky τ_0 [h]. V okamžiku, kdy je dosaženo času τ_0 , zkouška končí

3.5.1 Zkušební plán cenzurovaný dobou do poruchy (t-plán) [n, R, τ]

Tento typ zkušebního plánu se vyznačuje tou vlastností, že po předem určený časový úsek je sledováno, kolik poruch se během onoho intervalu vyskytne. Po poruše je výrobek téměř okamžitě vyměněn za nový a zkouška pokračuje až do předem určeného konce.

Po skončení zkoušky je znám celkový počet poruch a celkový akumulovaný pracovní čas zkoušky, který lze určit vzorcem:

$$T_{aku} = \sum_{i=1}^r (\tau_0 - O_i) + (n - r) \cdot \tau_0 \quad (3.29)$$

Kde T_{aku} [h] je celkový akumulovaný pracovní čas, O_i [h] je doba opravy i-té poruchy, n [-] je počet zkoušených výrobků, r [-] je počet poruch a τ_0 [h] je doba zkoušky.

V případě, že doba do obnovy je zanedbatelná vůči době zkoušky, lze pak vzorec zjednodušit následovně:

$$T_{aku} = n \cdot \tau_0 \quad (3.30)$$

V případě, že se námi zkoumaná populace výrobků řídí Weibullovým rozdělením pravděpodobnosti, pak pro intervalový odhad střední hodnoty platí následující:

$$(T_{SD})^m \geq \frac{2 \cdot T_{aku}^m}{\chi_{2v;1-\alpha}^2} \quad (3.31)$$

$$(T_{SH})^m \leq \frac{2 \cdot T_{aku}^m}{\chi_{2v;\alpha}^2} \quad (3.32)$$

Kde T_{SD} [h] je dolní hodnota hledaného intervalu, T_{SH} [h] je horní hodnota hledaného intervalu, m [-] je parametr tvaru W2P, T_{aku} [h] je celkový akumulovaný pracovní čas, $\chi_{2v;1-\alpha}^2$ je hodnota statistiky chí-kvadrát pro $2v$ stupňů volnosti na úrovni konfidence c .

Pro bodový odhad střední hodnoty lze použít modifikovaný vzorec:

$$MTBF^m = \frac{2 \cdot T_{aku}^m}{\chi_{2(r+1);0,5}^2} \quad (3.33)$$

Výše uvedený vzorec pak lze upravit ještě do použitelné podoby:

$$MTBF = \sqrt[m]{\frac{2 \cdot T_{aku}^m}{\chi_{2(r+1);0,5}^2}} \quad (3.34)$$

Kde $MTBF$ [h] je střední doba mezi poruchami, m [-] je parametr tvaru W2P, T_{aku} [h] je celkový akumulovaný pracovní čas, $\chi_{2(r+1);0,5}^2$ je statistika chí-kvadrát s $r+1$ stupni volnosti na úrovni konfidence 0,5 a r je počet poruch.

Pro exponenciální rozdělení pravděpodobnosti lze použít stejné vzorce při dosazení za parametr měřítka $m=1$, protože při této hodnotě Weibullovo rozdělení aproximuje rozdělení exponenciální.

3.6 Náklady vznikající s požadovanou spolehlivostí výrobků

- Náklady na nepohotovost – vznikají ztrátou funkce vozidla zapříčiněné jeho poruchou.
- Záruční náklady – vznikají na základě smluvního ujednání, kdy dodavatel provádí servis vozidla. Tyto náklady se pak promítají do vyšší pořizovací ceny vozidla.

- Náklady z odpovědnosti za škodu způsobenou vadou vozidla – vznikají v důsledku velkých materiálních ztrát, poškození životního prostředí a v neposlední řadě i v důsledku zranění či usmrcení osob.

Pro lepší orientaci v nákladech v průběhu životního cyklu výrobku se vypočítávají náklady na životní cyklus výrobku tzv. LCC (schéma LCC zobrazuje obr. č. 3.4).



Obr. č. 3.4: Schéma nákladů na spolehlivost [2]

3.7 Údržbový plán

Údržbový plán komplexně zpracovává požadavky na preventivní údržbu.

Počáteční program údržby – bývá zpravidla definován ještě před uvedením výrobku do provozu. Jedná se o údržbový plán, který je vytvářen ve spolupráci výrobce a provozovatele, a vychází především z již získaných zkušeností o údržbě jednotlivých částí.

Provozní program údržby – staví na počátečním programu údržby. Bývá inicializován provozovatelem výrobku a vychází z dat a zkušeností o skutečném opotřebení, poruchách a technologickém vývoji. Provozní program údržby bývá uplatňován po zavedení výrobku

do provozu, zejména pokud stávající program údržby vychází převážně ze zkušeností a doporučení výrobce.

Vytváření programu údržby probíhá postupně ve čtyřech po sobě následujících krocích:

- Dekompozice výrobku na dílčí části a stanovení cílů údržby.
- Určení prostředků a obsahu údržby dílčích celků.
- Určení intervalů údržby dílčích celků.
- Vypracování počátečního a následně provozního programu údržby.

3.7.1 Dekompozice výrobku na funkční celky

Cílem dekompozice výrobku je identifikovat funkčně významné (FSI) a ostatní celky. Z takto roztřízených celků se následně vybírají pouze ty celky, které byly zařazeny jako funkčně významné. Ty následně mohou způsobit:

- Poruchu ovlivňující bezpečnost nebo životní prostředí, i skrytě (celky SSI).
- Poruchu s významným dopadem na provoz a údržbu (celky MSI).
- Poruchu s významným ekonomickým dopadem (celky ESI).
- Poruchu s významným dopadem na komfort cestujících (celky QSI)

SSI - Tento typ poruchy může způsobit jakýkoliv detail, součást, celek nebo sestava, která významně přispívá k zachycení provozního, gravitačního, tlakového nebo řídicího zařízení. Tento typ poruchy může bezprostředně ohrozit kritickou konstrukci vozidla či jeho části. Plánovaná údržba celků SSI je základním pilířem programu údržby.

MSI - V důsledku poruchy celku MSI je nepříznivě ovlivněn provoz výrobku či vozidla. Důsledkem poruchy celku MSI vznikají provozní omezení a strojvedoucí musí použít postupy pro mimořádné případy. Nepříznivým následkem těchto poruch je nutnost snížit provozní rychlost vozidla či vznik neprovozuschopného stavu vozidla. Kvůli možnosti vzniku těchto nežádoucích situací je žádoucí vypracovat strategii údržby snižující pravděpodobnost poruchy na přijatelnou úroveň.

ESI – Porucha tohoto celku ničím nebrání provozu vozidla (výrobku), avšak v důsledku této poruchy dochází k ekonomickým ztrátám v podobě dodatečných nároků na pracovní

sílu a nákladů na materiál. Návrh údržby vychází z předpokladu, že náklady na preventivní údržbu budou nižší než náklady na údržbu po poruše.

QSI – Porucha tohoto prvku ničím nebrání provozu vozidla, ale významně ovlivňuje komfort cestování ve vozidle. Jedná se například o závadu na klimatizaci nebo topení v tlakotěsných vozech.

3.7.2 Stanovení prostředků a obsahu údržby

Mezi prostředky údržby patří následující úkony:

- Mazání, čištění, ošetřování
- Provozní a vizuální kontrola
- Prohlídka, kontrola funkce, diagnostika
- Obnova, modernizace
- Vyřazení

Údržba se skládá ze dvou základních skupin:

Skupina úkolů preventivní údržby – cílem je zjistit rozsah degradace a zabránit tomu, aby v jejím důsledku byla snížena bezporuchovost a bezpečnost na svou inherentní úroveň.

Skupina neplánovaných úkolů – cílem je udržet vozidlo v přijatelném technickém stavu nebo jej do něj obnovit.

3.7.3 Stanovení intervalů údržby

Intervaly údržby je možné určit třemi odlišnými způsoby:

- 1) Vyplývají z legislativy – jedná se intervaly pravidelných kontrol, ty jsou pro kolejová vozidla určena ve vyhlášce 173/1995 Sb, se kterou se vydává Dopravní řád drah ve znění vyhlášek 242/1996 Sb, a 174/2005 Sb.
- 2) Výpočtem – jsou využívány statistické metody, které zpracovávají data provozovatele o bezporuchovosti.

- 3) Odhadem – interval údržby je proveden expertním odhadem návrháře dané komponenty. Tento způsob se používá v případech, kdy nejsou dostatečná data o poruchovosti nebo nejsou známa.

Intervaly údržby se pokud možno určují tak, aby vyšší stupeň údržby zahrnoval nižší stupeň údržby.

3.7.4 Sestavení plánu údržby

Efektivní počáteční program údržby obsahuje pouze takové úkoly, které jsou nutné pro splnění daných cílů. Neobsahuje nadbytečné úkoly, které zvyšují náklady na údržbu, ale nepřinášejí zvýšení inherentní (vložené) úrovně spolehlivosti. Program údržby se sestavuje jako skupinový tak, aby bylo možné práce provádět souběžně. Díky tomu klesá i pracnost přípravy a možnost logistického zpoždění.

Provozní program údržby vychází z počátečního programu údržby. Po určité době provozu se program údržby upravuje dle skutečných provozních podmínek.

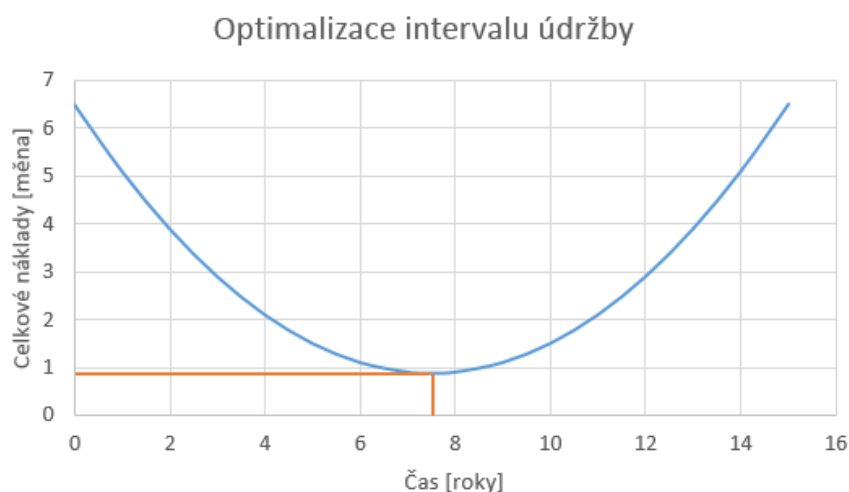
3.8 Optimalizace celkových nákladů na údržbu

Optimalizace celkových nákladů na údržbu se provádí analýzou křivky celkových nákladů. Pro prvky, které neohrožují bezpečnost provozu, jejich poruchou nevznikají následné vysoké náklady na údržbu jiných prvků a není zde možnost vysokých ekonomických ztrát v důsledku poruchy prvku. Tuto optimalizaci lze provádět za podmínky, že je k dispozici dostatek přesných dat o poruchovosti prvku. [6]

Křivku celkových nákladů lze získat ze dvou dílčích složek, a to křivkou vyjadřující náklady na preventivní údržbu a křivkou vyjadřující náklady na údržbu po poruše. Součtem těchto dvou dílčích křivek vzniká výsledná křivka celkových nákladů.

V rámci celkových nákladů na údržbu (LCC) se snažíme celkové náklady minimalizovat, proto je žádoucí nalézt minimum nákladové funkce (viz obr. 3.5). Pokud takové minimum křivky existuje, pak v tomto bodě je nejvýhodnější provádět preventivní

údržbu. Pokud minimum křivky neexistuje, nemá smysl provádět preventivní údržbu a pro sledovaný prvek zavést systém údržby po poruše. [Autor]



Obr. č. 3.5: Křivka nákladů na údržbu a její minimum [Autor]

3.9 Náklady na životní cyklus (LCC)

Náklady na životní cyklus výrobku jsou pro zadavatele zakázky vhodným ukazatelem, který dokáže srovnat dva podobné výrobky různých dodavatelů. Nejprve je potřeba stanovit podmínky, které budou kladeny na výpočet. Mezi tyto podmínky často patří požadavek na výpočtové ceny komponentů výrobku, které mohou být požadovány jako:

- a) Aktuální pro daný rok
- b) Ceny postupně rostoucí dle předpokládané výše inflace a navyšování cen komponent.

Dalšími potřebnými zadávacími parametry jsou mimo jiné předpokládaná délka života výrobku, požadované intervaly preventivní údržby, předpokládaný kilometrický proběh vozidla, počet provozních cyklů a hodinová sazba pozáručního servisu.

Výpočet LCC se skládá z následujících částí:

- Náklady na preventivní údržbu
- Náklady na údržbu po poruše
- Náklady na logistiku

Do celkových nákladů na životní cyklus pak je vhodné započítat i pořizovací náklady modulu. [Autor]

4 Stanovení spolehlivostních charakteristik

Pro stanovení spolehlivostních charakteristik modulu je využit následující postup:

- 1) Dekompozice modulu na výpočtové části
- 2) Získání dat o poruchách za sledované období
- 3) Výpočet spolehlivostních charakteristik pro prvky s exponenciálním a W2P rozdělením pravděpodobnosti poruchy.

4.1 Dekompozice modulu

Pro stanovení spolehlivostních charakteristik je potřeba modul rozdělit na sledované celky, kterým je možné vypočítat jejich pravděpodobnost poruchy. Modul byl rozdělen na 4 logické celky, které obsahují sledované komponenty. Každému komponentu bylo přiřazeno charakteristické označení ze tří částí ve formátu X-00-00, kde písmeno X označuje, pod kterou část modulu součást spadá (M – toaleta, D – systém dveří, VaOH – vodní a odpadní hospodářství, V – vybavení modulu), první dvojčíslí označuje podskupinu a poslední dvojčíslí označuje pořadí sledovaného výrobku v hierarchii řazení. Výjimku tvoří skupina M, kde postačuje označení pouze jedním dvojčíslím. Toto označení vychází ze zvyklosti výrobce.

Schéma vodního a odpadního hospodářství je zakresleno v příloze B.

Vybraný modul lze tak dekomponovat následně:

Tabulka č. 4.1: Dekompozice modulu. [Autor]

Kód	Součást
M-01	RS Box
M-02	Ejektor
M-03	Vstupní ventil
M-04	Výstupní ventil
M-05	Čidlo hladiny v míse
M-06	Tlakový senzor
M-07	Dávkovací nádržka
M-08	Vodní ventil
M-09	Přepínací tlakový ventil
M-11	CPU-BVH
D-01	Zámek dveří standard

Kód	Součást
D-02	Snímač polohy zámku
D-03-01	Motorek pohonu
D-03-02	Řemen pohonu
D-03-03	Kladky vozíku
D-03-04	Kladky řemene
D-03-05	Vodící kolejnice
D-03-06	Dolní vedení
D-03-07	Snímač koncové polohy
D-03-08	Mechanismus zámku
D-04	Celá řídící jednotka
D-04-03	CPU dveře - krokový snímač

Kód	Součást
D-04-04	CPU dveře - elektronika
D-04-05	CPU dveře - neuvedeno
D-05-01	Madla dveří
D-05-02	Oliva
D-05-03	Tlačítko otevírání vnitřní
D-05-04	Tlačítko otevírání vnější
D-05-05	Tlačítko zavírání vnitřní
D-05-06	Tlačítko zavírání vnější
D-05-07	Tlačítko zámku
D-05-08	Signalizace "zamčeno" vnitřní
D-05-09	Infopanel pro cestující (vnější)
D-05-10	Přepínač módu dveří (ruční / automat / mimo provoz)
VaOH-01-01	Snímač hladiny ve vodojemu
VaOH-01-02	Snímač hladiny v odpadní nádrži 80
VaOH-01-03	Snímač hladiny v odpadní nádrži 100
VaOH-01-04	Detektor vody v potrubí
VaOH-01-05	Snímač teploty vody v potrubí
VaOH-01-06	Snímač teploty vně vozu
VaOH-01-07	Snímač teploty topení
VaOH-01-08	Tlačítko WC (splachování)
VaOH-01-09	Tlačítko / senzor vody do umývadla
VaOH-02-02	ROZV-Relé napájení
VaOH-02-03	ROZV-Relé ventilu umývadla
VaOH-02-04	ROZV-Relé ventilátoru odsávání
VaOH-02-05	ROZV-Relé ventilů 3
VaOH-02-07	ROZV-Stykač ohřívače vody
VaOH-02-08	ROZV-Stykač topení
VaOH-03-01	BOJLER-Topnice bojleru
VaOH-03-03	BOJLER-Termostat 30
VaOH-03-04	BOJLER-Termostat 50
VaOH-03-05	BOJLER-Netěsnost
VaOH-04-03	VENTILY-Ruční ventil 3/4" od vodojemu před filtrem

Kód	Součást
VaOH-04-04	VENTILY-Elmag. ventil vypouštění při mrazu
VaOH-04-05	VENTILY-Ruční ventil vypouštění při mrazu
VaOH-04-06	VENTILY-Elmag. ventil umývadla
VaOH-04-07	VENTILY-Elmag. ventil k WC
VaOH-04-08	VENTILY - Cívka k ventilu
VaOH-05-01	FILTRY-pod vodojemem
VaOH-05-02	FILTRY-umývadla
VaOH-05-03	FILTRY-neuvedeno
VaOH-07-01	ODPAD-Závada odpadní nádrže
VaOH-07-02	ODPAD-Odsávací potrubí
VaOH-07-05	ODPAD-Netěsnost potrubí vnitřního rozvodu vody
VaOH-07-06	ODPAD-Netěsnost potrubí WC-ON
VaOH-07-07	ODPAD-Netěsnost potrubí Umývadlo-ON
VaOH-07-08	ODPAD-Netěsnost potrubí odsávání
VaOH-08-01	Sdružený stavoznak
V-02-01	BABY-panty
V-02-02	BABY-zámek
V-02-03	BABY-vzpěry
V-03-02	SOS-Tlačítko SOS vysoké
V-03-03	SOS-Tlačítko SOS nízké
V-04-01	REST-Osvětlení běžné
V-04-03	REST-Madla pevná
V-04-04	REST-Madlo sklopné
V-04-05	REST-Odpadkový koš
V-04-06	REST-Držák toaletního papíru
V-04-07	REST-Věšák na oděvy - horní
V-04-08	REST-Věšák na oděvy - spodní
V-04-09	REST-Odvětrání
V-04-10	REST-Radiátor
V-04-11	REST-Zámky klapky
V-04-12	REST-Dávkovač mýdla
V-04-13	REST-Ventilátor topení
V-04-15	REST-Prostorový termostat

4.2 Data o poruchách

Díky velmi úzké spolupráci s výrobcem sanitárního modulu bylo možné získat poměrně přesná data o poruchovosti jednotlivých komponentů a o ceně jejich opravy popřípadě výměny. Zdrojem pro získání potřebných údajů byly zprávy o technických zásazích, faktury, reklamační a servisní protokoly, dokument obsahující data předání modulů zákazníkovi a jejich uvedení do provozu, seznam provedených revizí, katalog náhradních dílů [11] a v neposlední řadě elektronická databáze oprav.

Data ze všech zdrojů byla sdružena do jediného dokumentu, který se stal výchozím pro následující výpočty potřebné k vytvoření provozního údržbového plánu a výpočtu LCC. Tento dokument je z důvodu značné rozsáhlosti veden jako příloha C v elektronické podobě.

Jelikož data se prakticky skládají ze dvou různých typů záznamů, je nutné tuto skutečnost při výpočtu brát v potaz. Prvním typem záznamů jsou data získaná z preventivních prohlídek, kdy byly zjištěny nefunkční součásti, a proto byly opraveny nebo vyměněny. Jejich přesný čas poruchy není znám. Druhým typem záznamů jsou data získaná z reklamačních protokolů a z dat o výjezdech k poruchám. Zde je přesně znám čas poruchy. Tyto skutečnosti jsou ve výpočtu zohledněny.

Z důvodu pohyblivosti cen náhradních dílů v průběhu času je při výměně dílu počítána cena nového dílu (rok 2016) a při opravě je počítána průměrná cena opravy součásti vycházející ze získaných dat.

Rozsah dat je určen datem uvedení modulu do provozu (u každého modulu se liší) a koncovým datem 31.12.2015.

Po rozdělení poruch do příslušných skupin byla vypočtena doba, po které vznikla daná porucha od předchozí instalace součásti dle následujícího vzorce:

$$\Delta T = T_{i+1} - T_i \quad (4.1)$$

Kde ΔT [den] je čas v provozu do poruchy, T_{i+1} [den] je den vzniku $i+1$ poruchy a T_i [den] je den vzniku i -té poruchy.

Tento první výpočet odhalil několik duplicitních záznamů, a proto byly tyto záznamy vyřazeny.

Následně byla data pro jednotlivé kategorie seřazena vzestupně dle doby do poruchy a každé poruše bylo přiřazeno pořadové číslo. Výchozí data pro výpočet tak mají následující podobu:

Tabulka č. 4.2: Doby do poruchy vstupního ventilu WC M-03. [Autor]

Pořadové číslo poruchy	Δt [den]
1	1249
2	1304
3	1685
4	1767
5	1817
6	1857
7	1987
8	2158
9	2239
10	2323
11	2400
12	3028

4.3 Výpočet spolehlivostních charakteristik

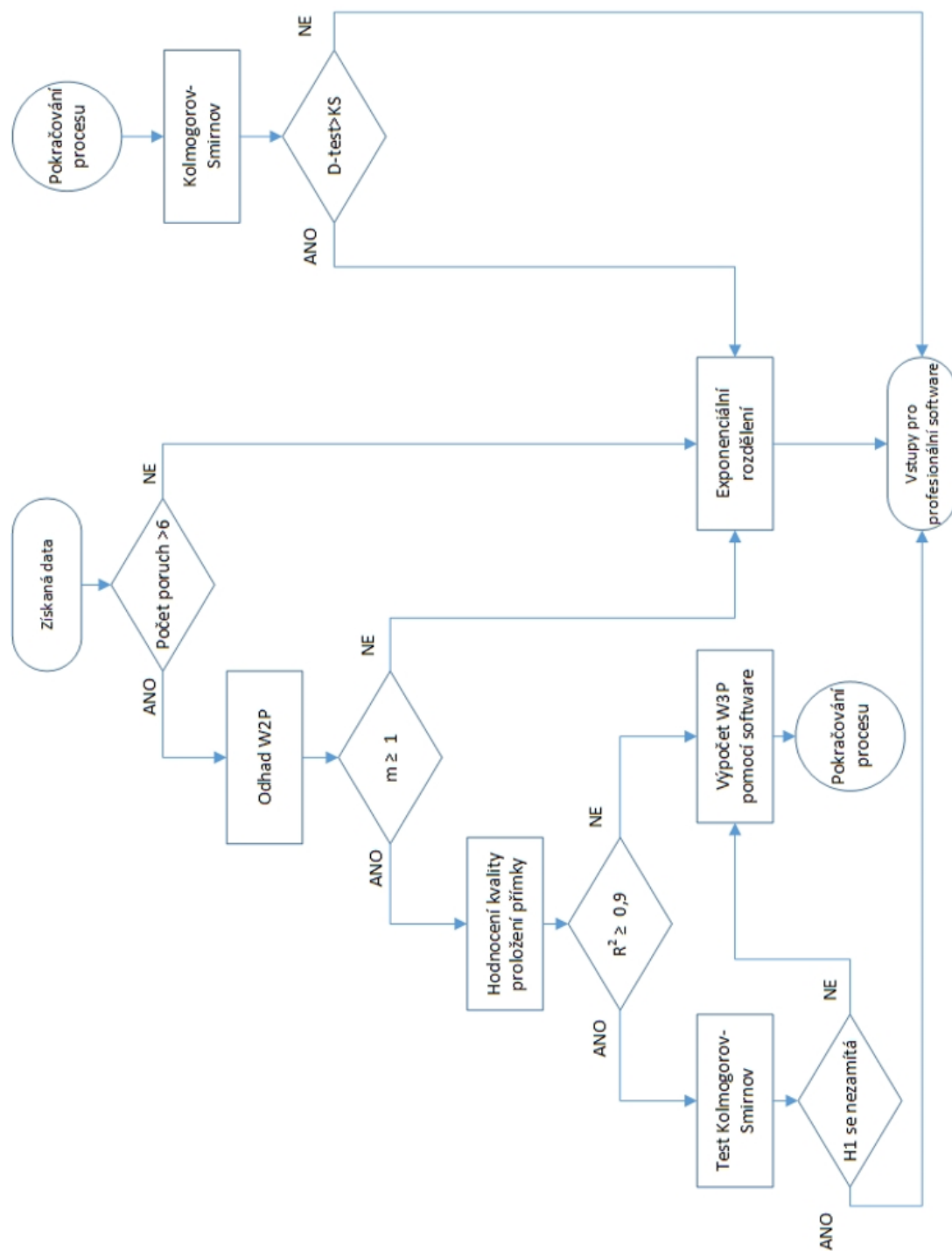
Vzhledem k rozsáhlosti základního souboru dat, který obsahuje větší množství paralelních výpočtových linií, budou v textu práce uvedeny pouze vzorové výpočty pro jednu konkrétní součást modulu pro každý způsob výpočtu. Grafy pro lineární regrese a výsledné hodnoty odhadů jsou uvedeny v přílohách D až F. Kompletní výpočty jsou vedeny jako elektronická příloha G.

Způsob výpočtu počtu poruch za 30 let byl proveden různými cestami dle kvality a množství získaných dat. Rozhodovací diagram je znázorněn na obr 4.1.

V případě dostatečnosti získaných dat byla použita metoda výpočtu pomocí odhadu W2P nebo W3P rozdělení (při nedostatečně přesném proložení regresní přímky). V případě

nedostatečnosti dat byla použita metoda zkušebního t-plánu s parametrem pro exponenciální rozdělení pravděpodobnosti, které představuje nejhorší možný stav poruchovosti.

Pro VaOH-03-01, VaOH-04-04, VaOH-04-07 a V-04-13 nebyly provedeny výpočty rozdělení pravděpodobnosti, neboť získaná data byla značně zkreslená faktem, že porucha těchto prvků byla vždy odhalena při preventivní prohlídce. Doby do poruchy výše uvedených prvků tak není možné přesně identifikovat. Výměna těchto prvků byla navržena do plánu preventivní údržby, viz kapitolu 5.



Obr. č. 4.1: Rozhodování o způsobu výpočtu počtu poruch [Autor]

4.3.1 Výpočet charakteristik W2P rozdělení

Pro vzorový výpočet jsem zvolil vstupní ventil WC – skupina M-03. Následující vzorce a výpočty budou prováděny pro první hodnotu doby do poruchy. Výpočty pro ostatní hodnoty jsou provedeny dle shodného vzorce s dosazením příslušných hodnot a pro první tři hodnoty jsou výsledky uvedeny vždy za vzorovým výpočtem, viz tabulky 4.3 a 4.4.

Nejprve určíme předpokládanou hodnotu distribuční funkce Weibullova rozdělení pomocí vzorce 3.26, přičemž celkový počet poruch dosáhl hodnoty 12:

$$F_i T(\Delta L) = \frac{i - 0,3}{N + 0,4} = \frac{1 - 0,3}{12 + 0,4} = 0,0565 \quad (4.2)$$

Tabulka č. 4.3: První tři výpočty distribuční funkce výběrového rozdělení pravděpodobnosti.
[Autor]

Pořadové číslo poruchy	Δt [den]	$F_{iT}(\Delta t)$
1	1249	0,0565
2	1304	0,1371
3	1685	0,2177

Následně je potřeba provést výpočty, které povedou k substituci uvedené v rovnicích 3.20 až 3.22. Proto nejprve provedeme výpočet přirozeného logaritmu ujeté vzdálenosti do poruchy:

$$\ln(\Delta T) = \ln(1249) = 7,1301 \quad (4.3)$$

Poté je vypočtena hodnota Y, která reprezentuje hodnoty na svislé ose substituční přímky:

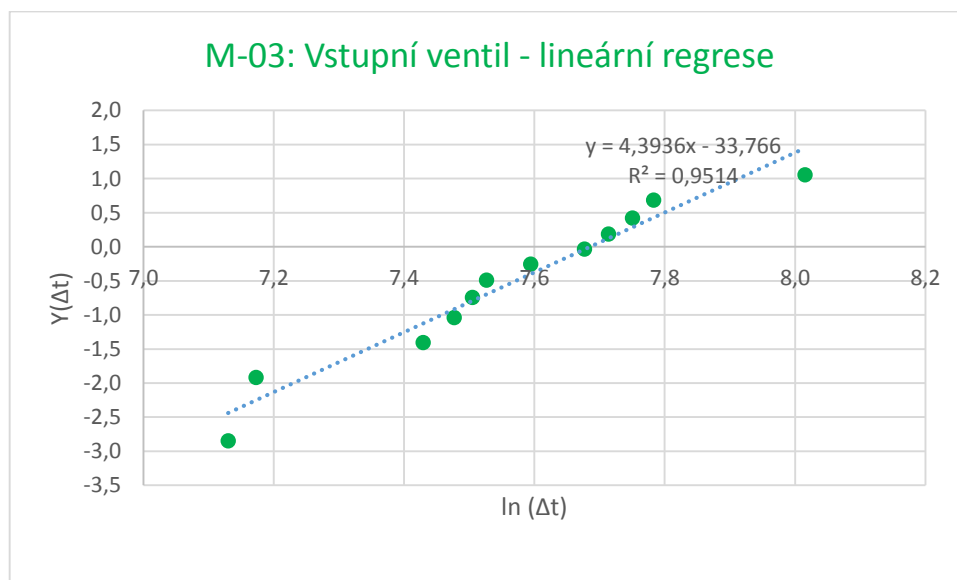
$$Y = \ln(-\ln(1 - F_i T(\Delta L))) = \ln(-\ln(1 - 0,0565))$$

$$Y = -2,8455 \quad (4.4)$$

Tabulka č. 4.4: Výpočet hodnoty Y [Autor]

Pořadové číslo poruchy	Δt [den]	$F_{iT}(\Delta t)$	$\ln(\Delta t)$	$Y = \ln(-\ln(1 - F(\Delta t)))$
1	1249	0,0565	7,1301	-2,8455
2	1304	0,1371	7,1732	-1,9142
3	1685	0,2177	7,4295	-1,4042

Následně je z těchto hodnot vytvořen XY bodový graf, kdy na ose x jsou vyneseny hodnoty přirozeného logaritmu doby do poruchy a na ose y jsou vyneseny hodnoty Y. V tomto grafu je zobrazena spojnice trendu, automaticky vypočtená rovnice této regresní přímky a také hodnota spolehlivosti (druhá mocnina indexu korelace). Vzor takového grafu je zobrazen na obr. 4.2.



Obr. č. 4.2: Graf lineární regrese [Autor]

Z rovnice regresní přímky lze přímo odečíst následující hodnoty (viz tabulku č. 4.5):

- Parametr tvaru Weibullova rozdělení pravděpodobnosti m. Tento parametr je roven koeficientu u proměnné x.
- Hodnotu -q, ze které je níže proveden výpočet parametru měřítka W2P

Tabulka č. 4.5: Tabelární přehled hodnot po lineární regresi [Autor]

N	12
m	4,3936
-q	33,766
R²	0,9514

Parametr měřítka pak je určen jako:

$$t_0 = e^{\frac{-q}{m}} = e^{\frac{33,766}{4,3936}} = 2\,176 \text{ dní} \quad (4.5)$$

Aby byly potřebné parametry a charakteristiky kompletní, je zapotřebí ještě vypočítat střední dobu do poruchy dle vzorce 3.11:

$$T_s = t_0 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) = 2\,176 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{4,3936}\right) \quad (4.6)$$

$$T_s = 1\,983 \text{ dní}$$

Výsledné hodnoty pak zobrazuje tabulka č. 4.6

Tabulka č. 4.6: Tabelární přehled hodnot W2P [Autor]

N	12
m	4,3936
-q	33,766
R²	0,9514
t₀	2176
T_s	1983

Kde N [-] je počet poruch, m [-] je parametr tvaru W2P, q [-] je hodnota posunutí regresní přímky po ose y, R [-] je index korelace, t₀ [den] je parametr měřítka a T_s [den] je střední hodnota W2P.

4.3.2 Testování původu dat z vypočteného rozdělení

Všechny výpočtové skupiny byly podrobeny testu dobré shody Kolmogorov-Smirnov, který má za úkol ověřit, zda lze výběrové rozdělení pravděpodobnosti nahradit vypočteným W2P rozdělením s příslušnými parametry.

Nejprve je potřeba určit nulovou hypotézu, kterou budeme testovat, a k ní hypotézu alternativní:

H₀: Výběrové hodnoty pochází z W2P rozdělení s vypočtenými parametry.

H₁: Výběrové hodnoty nepochází z W2P rozdělení s vypočtenými parametry.

V předchozích výpočtech byly vypočteny jak hodnoty distribuční funkce výběrového rozdělení pravděpodobnosti, tak i hodnoty distribuční funkce teoretického rozdělení pravděpodobnosti W2P s příslušnými parametry. Proto lze pokračovat ve výpočtu z rovnice 4.43, kdy je nejprve vypočtena hodnota rozdílu hodnot distribučních funkcí:

$$\begin{aligned}\Delta F_i(1249) &= |F_T - F_{W2P}| = |0,0565 - 0,0833| \\ \Delta F_i(1249) &= 0,0268\end{aligned}\tag{4.7}$$

Tabulka č. 4.7: Výpočet rozdílů distribučních funkcí [Autor]

Pořadové číslo poruchy	Δt [den]	$F_{iT}(\Delta t)$	$F_{iW2P}(\Delta t)$	$ \Delta F_i $
1	1249	0,0565	0,0833	0,0268
2	1304	0,1371	0,0998	0,0373
3	1685	0,2177	0,2768	0,0591

V takto výpočtených rozdílech je potřeba nalézt maximum (supremum), které představuje hodnotu testovacího kritéria D_1 . Pro tento vstupní ventil bylo toto supremum nalezeno jako:

$$D_1 = \sup(|F_T - F_{W2P}|) = 0,0788\tag{4.8}$$

Nakonec je testovací kritérium porovnáno s kritickou hodnotou, která je uvedena v tabulce v příloze A. Jelikož je tento test prováděn na hladině významnosti $p=0,05$ a počet prvků testovací soustavy činí $N = 12$, je pro tento test kritická hodnota rovna $D_{1\max} = 0,375$.

Aby testovaná hypotéza nebyla zamítnuta, je nutné, aby byla splněna následující podmínka:

$$\begin{aligned}D_1 &< D_{1\max,0,05} \\ 0,0788 &< 0,375\end{aligned}\tag{4.9}$$

Z této nerovnosti vyplývá, že zvolenou nulovou hypotézu nezamítáme. Lze tedy tvrdit, že testovaný výběr se řídí vypočteným teoretickým rozdělením pravděpodobnosti W2P s příslušnými parametry.

Pro všechny prvky s dostatečnými daty z výpočtů vyplývá, že lze použít příslušná vypočtená rozdělení pravděpodobnosti poruch.

4.3.3 Výpočet charakteristik W3P rozdělení

V případě, že získaná data byla dostatečná, ale pomocí regresní analýzy pro W2P rozdělení se nepovedlo data proložit přímkou, pro niž kvadrát indexu korelace je nižší

než 0,9, byl použit pro výpočet odhadu koeficientů W3P specializovaný software, který poskytnul vedoucí diplomové práce.

Takový výpočet byl proveden pro prvky s označením M-04, M-05, M-06, M-08, VaOH-01-02, VaOH-01-03 a VaOH-05-02. Níže je popsán postup pro výstupní ventil M-04.

Pomocí lineární regrese byla zjištěna hodnota kvadrátu indexu korelace $R^2=0,8849$. Tato hodnota je nižší než 0,9, tudíž považuji tento výpočet za nepřesný. Do příslušných polí software byly zadány hodnoty doby do poruchy a zvolen typ rozdělení W3P. Software je schopen vypočítat 2 různé varianty rozdělení pravděpodobnosti. Ve všech případech bylo možno vypočítat pouze jednu variantu. Výstupem softwaru je následující tabulka 4.8.

Tabulka č. 4.8: Výpočet rozdílů distribučních funkcí [Specializovaný licenční software]

	Varianta 1
Stupňů volnosti	20
Střední hodnota X (empirická)	1467,1
Sigma (empirická)	854,8
Odhad hodnot	
Střední hodnota X (teoretická)	1663,6
Sigma (teoretická)	1082,8
C	0,0
M	1,57
X0	1849,3
D test	0,8793
Kritická hodnota KS($\alpha = 0,05$)	0,2782
Kritická hodnota KS($\alpha = 0,1$)	1,6734
Rozptyl	1,0724
Kvantil poruchovosti F 90%	3151,0
Kvantil poruchovosti F 10%	439,1
Kvantil bezporuchovosti R	

Z tabulky lze vyčíst potřebné hodnoty (zvýrazněny barevně). Parametr tvaru Weibullova rozdělení je $m=1,57$ (softwarově označen jako M), parametr měřítka $t_0=1849,3$ (softwarově označen jako X0), parametr posunutí $c=0$ (softwarově označen jako C).

Software automaticky otestoval hypotézu o původu hodnot z vypočteného rozdělení pravděpodobnosti pomocí zabudovaného testu Kolmogorov-Smirnov. Hodnota D test udává hodnotu testovacího kritéria $D_1=0,8793$. Pro test volím hladinu významnosti $D_{1\max}=0,1$.

Kritická hodnota KS ($\alpha=0,1$) udává kritickou hodnotu testu $D_{1\max,0,1}=1,6734$. Z těchto hodnot plyne, že výběrové hodnoty mohou pocházet z testovaného rozdělení pravděpodobnosti, nulovou hypotézu tedy nezamítám.

4.3.4 Výpočet charakteristiky exponenciálního rozdělení pomocí t-plánu

Pro prvky, jejichž data nejsou dostatečně přesná, byl použit výpočet pro exponenciální rozdělení, které představuje nejhorší možný průběh poruchovosti. Pro vzorový výpočet jsem zvolil řídicí jednotku BVH - skupina M-11.

Nejprve byla určena hodnota tzv. kumulovaného pracovního času. Jelikož moduly jsou v provozu různou dobu a doba opravy vůči době v provozu je zanedbatelná, byl akumulovaný pracovní čas vypočten jako:

$$T_{AKU} = \sum_i^n 31.12.2015 - t_i = 526\,025 \text{ dní} \quad (4.10)$$

Kde: n [-] je počet modulů, t_i [datum] je datum uvedení i -tého modulu do provozu, 31.12.2015 je datum ukončení sledování poruchovosti.

Během doby sledování bylo zjištěno celkem 35 poruch řídicí jednotky z 236 nasazených kusů. Střední dobu do poruchy MTBF pak lze vypočítat dosazením do vzorce 3.34:

$$MTBF = \sqrt[m]{\frac{2 \cdot T_{aku}^m}{\chi_{2(r+1);0,5}^2}} = \frac{2 \cdot 526025}{\chi_{2(35+1);0,5}^2} = 14\,847 \text{ dní} \quad (4.11)$$

Z výše uvedeného výsledku lze soudit, že výpočtem pomocí zkušebního plánu je získána podstatně vyšší hodnota MTBF než při výpočtu pomocí W2P. Tento jev je způsoben poměrně nízkým počtem poruch vůči celkové době sledování.

4.4 Výpočet počtu poruch

Z důvodu značné náročnosti programování výpočtu počtu poruch integrální metodou Monte Carlo jsem využil stávající licenční software Institutu dopravy, který byl poskytnut vedoucím diplomové práce. Tento specializovaný program umožňuje provést výpočty pro různá rozdělení pravděpodobnosti poruch. Pro potřeby diplomové práce bylo využito W2P rozdělení a exponenciální rozdělení. Byl vytvořen jeden simulační prvek, jemuž byly přiřazeny charakteristiky rozdělení. Čas simulace činil pro všechny součásti 30 let, přičemž nebyla zohledněna preventivní údržba, neboť v době pozorování poruchovosti nebyl zaveden plán preventivní údržby. Pro každý prvek proběhlo 1000 simulačních běhů, jejichž nejdůležitější souhrnné výsledky pro prvních 5 let jsou znázorněny v tabulce 4.9. Celá tabulka a ostatní výstupy z licenčního softwaru jsou vedeny jako elektronická příloha H této práce. Jelikož program je v anglickém jazyce, jsou tyto výsledky ponechány v originálním znění.

Tabulka č. 4.9: Výpočet rozdílů distribučních funkcí [Autor]

Time (Year)	System Failures(t)	R(t)
1	0	1
2	0,008	0,992
3	0,05	0,95
4	0,162	0,839
5	0,375	0,626

Kde: Time (Year) [roky] je rok provozu, System Failures (t) je kumulativní počet poruch v příslušném roce a R(t) je bezporuchovost součásti.

4.5 Optimalizace údržby

Pro vybrané prvky byla provedena optimalizace údržby dle její finanční náročnosti. Snahou tohoto výpočtu je zjistit, zda pro prvky ESI a QSI je možné navrhnout vhodný interval preventivní údržby. Konkrétně byly vybrány prvky s označením M-03, M-04, M-06 a VaOH-01-02. Níže je uvedena optimalizace pro M-03. Zbylé prvky jsou rozebrány v příloze I.

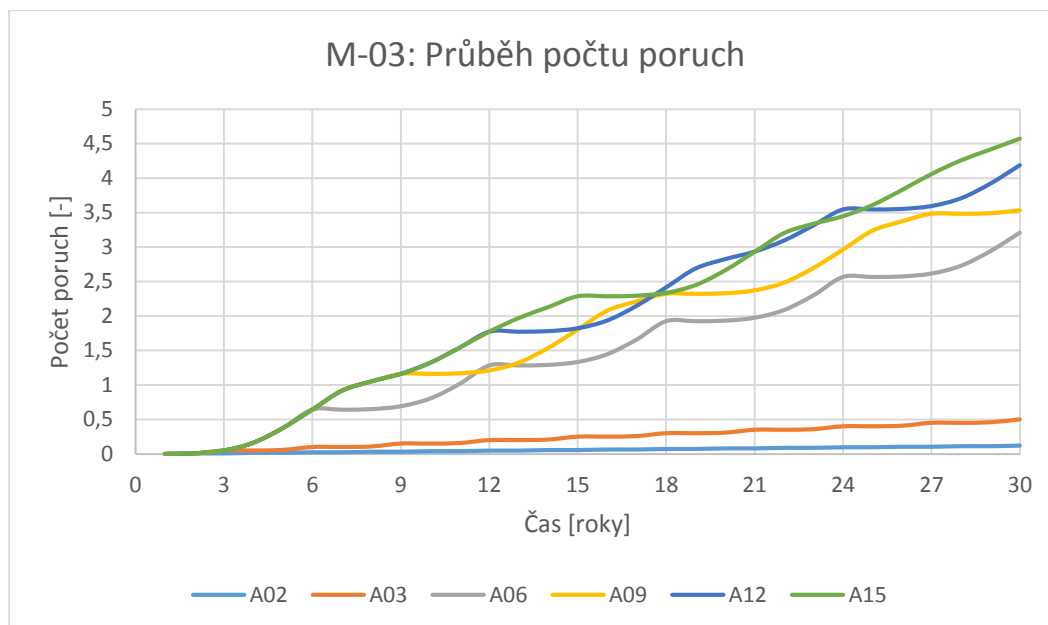
Výpočet bere v úvahu různé intervaly výměny součástí za novou. Tyto intervaly kopírují intervaly pro preventivní údržbu, které jsou požadovány provozovatelem (viz kapitolu 5) s výjimkou periody A10, která je pro přehlednost nahrazena fiktivní periodou A09. Dle těchto intervalů je dopočet počet preventivních výměn za 30 let, přičemž výměna v třicátém roce života modulu již není započítána. Náklady na preventivní obnovu součástí jsou vyjádřeny jako 1 relativní peněžní jednotka.

Počty poruch pro určené intervaly údržby jsou dopočteny z průběhů počtu poruch v závislosti na čase tak, že při preventivní výměně je součást vyměněna za novou a průběh křivky poruchovosti opět roste od nuly. Tyto průběhy pak ve své podstatě také vyjadřují, jakým způsobem je hospodařeno s inherentní spolehlivostí součástí. Graf průběhu počtu poruch pro různé intervaly preventivní údržby je znázorněn na obrázku 4.3. Pro potřeby optimalizace jsou důležité konečné počty poruch za 30 let. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.10.

Tabulka č. 4.10: Výpočet nákladů na údržbu pro různé intervaly prev. údržby [Autor]

I [roky]	PO [-]	N _{PO} [jednotky]	PP [-]	N _{PP} [jednotky]	N _C [jednotky]
2	14	14	0,12	0,18	14,18
3	9	9	0,5	0,75	9,75
6	4	4	3,21	4,815	8,815
9	3	3	3,533	5,2995	8,2995
12	2	2	4,186	6,279	8,279
15	1	1	4,572	6,858	7,858

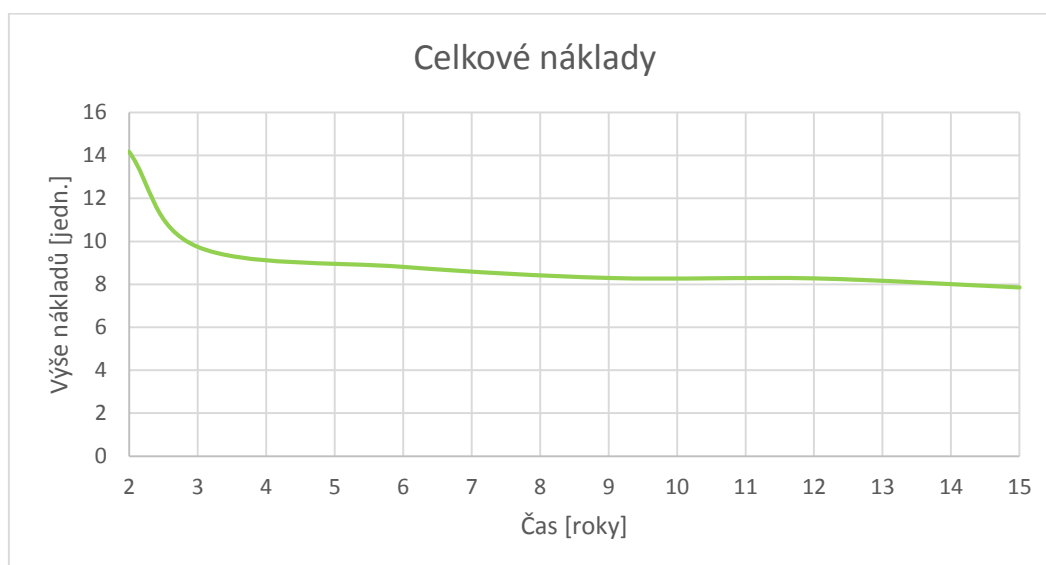
Kde I [roky] je interval preventivní výměny, PO [-] je počet preventivních obnov, N_{PO} [jednotky] jsou relativní náklady na preventivní údržbu, PP [-] je počet poruch, N_{PP} [jednotky] jsou náklady na údržbu po poruše a N_C [jednotky] jsou celkové náklady na údržbu.



Obr. č. 4.3: Graf průběhu počtu poruch [Autor]

Náklady na výměnu součásti po poruše jsou vyjádřeny poměrem k nákladům na preventivní obnovu. Pro vstupní ventil M-03 jsou tyto náklady vyjádřeny jako 1,5 násobek nákladů na preventivní obnovu. Prostým vynásobením počtu poruch za 30 let a relativních nákladů na 1 opravu po poruše jsou získány celkové náklady na údržbu po poruše za 30 let.

Součtem nákladů na preventivní údržbu a nákladů na údržbu po poruše jsou získány celkové náklady na údržbu. Jejich průběh pak je vyobrazen na obrázku 4.4. Z hlediska snahy dosáhnout co možná nejnižší hodnoty LCC pak je potřeba nalézt minimum této křivky.



Obr. č. 4.4: Graf průběhu celkových nákladů na údržbu [Autor]

Z výše uvedeného grafu je patrné, že křivka nemá žádné minimum, jelikož se jedná o křivku neustále klesající. Během prvních 3 let provozu však lze pozorovat značný pokles celkových nákladů, poté klesající tendence křivky značně zpomaluje. Z toho lze usoudit, že součástí je výhodné měnit nejdříve po 3 letech provozu. Ovšem s prodlužujícím intervalem preventivní údržby roste počet poruch po poruše. Tento jev není ekonomicky v rámci prvku nikterak významný, avšak nízkou spolehlivostí prvku vzniká negativní pohled provozovatele na výrobce.

Z toho důvodu navrhuji vstupní ventil po 3 letech provozu zkontrolovat v rámci preventivní údržby, jelikož v tomto období hrozí porucha. V případě nepoškozenosti ventilu lze ventil ponechat v provozu po další 3 roky. Celkem po 6 letech doporučuji ventil preventivně vyměnit bez ohledu na stav. V případě poškození ventilu po 3 letech navrhuji repasi popřípadě výměnu za nový kus a v 6 letech od uvedení modulu do provozu pak opět navrhuji ventil vyměnit za nový bez ohledu na stav.

Obdobné hodnocení bylo provedeno i u ostatních posuzovaných prvků a bylo konzultováno s výrobcem modulu. Toto hodnocení se pak promítá do navrženého plánu preventivní údržby.

Celá optimalizace je platná pouze pro provozní podmínky v České republice. V případě provozu v zahraničí (hlavně v německy mluvících zemích) se koeficient nákladů na údržbu po poruše prudce zvyšuje a výsledky optimalizace mohou být zcela odlišné.

5 Návrh údržbového plánu

Nejpříznivější situací pro návrh provozního údržbového plánu je existence počátečního plánu údržby, který by byl přizpůsoben konkrétním provozním podmínkám. Z důvodu absence počátečního plánu údržby pro tento modul jsem vycházel kombinovaně z vypočtených dat o spolehlivosti, z optimalizačních výpočtů a ze zkušeností výrobce.

5.1 Intervaly preventivní údržby

Intervaly preventivní údržby byly určeny provozovatelem následovně:

Tabulka č. 5.1: Intervaly preventivní údržby [Autor]

Plán preventivní údržby			
ID	Popis	Km	Perioda
I1	Prohlídka vlakovým personálem		1 den
I2	Prohlídka vlakovým personálem		14 dnů
A01	Periodická prohlídka malá	30 000	1 rok
A02	Periodická prohlídka střední	60 000	2 roky
A03	Vyvazovací oprava	90 000	3 roky
A06	Hlavní oprava	180 000	6 let
A10	-	300 000	10 let
A12	A06 + Malá údržba dveří	360 000	12 let
A15	A03 + Velká údržba dveří	450 000	15 let

V případě prohlídek I1 a I2 není prováděna žádná údržba, jedná se pouze o malou a velkou kontrolu funkčnosti modulu. Tyto prohlídky nejsou dále v práci rozebírány.

5.2 Úkony v jednotlivých stupních údržby

Každý údržbový stupeň obsahuje úkony, které se mají provést, aby byla zajištěna správná funkčnost modulu do doby další plánované údržby. Každý vyšší stupeň údržby obsahuje úkony z nižšího údržbového stupně s výjimkou těch úkonů, které by bylo v danou chvíli zbytečné vykonávat.

Úkony jsou rozděleny do 6 různých skupin:

D – doporučeno – Tento úkon je doporučen provést. Pokud úkon nebude vykonán, na funkci systému jeho neprovedení nebude mít vliv.

K – kontrola – Provádí se kontrola komponentu, přičemž se nepředpokládá jeho poškození opotřebením.

K/V – kontrola/výměna – Provádí se kontrola komponentu, přičemž se předpokládá, že komponent může být poškozen opotřebením popřípadě zanesen nečistotami.

K+S – kontrola + seřízení – Provádí se kontrola funkce komponentu, předpokládá se potřeba seřízení či kalibrace.

Dia – Diagnostika – Provádí se elektronická diagnostika systému.

V – Výměna – Provádí se preventivní výměna komponentu.

Všechny úkony při provádění plánované údržby jsou vykonávány dle platného návodu na údržbu modulu, který poskytuje výrobce. Proto přesné provedení jednotlivých úkonů není v diplomové práci dále definováno.

Údržbový plán na celou délku života modulu je graficky zpracován v elektronické příloze J. Ukázka grafického zpracování údržbového plánu je znázorněna na obrázku 5.1:

			1 rok				2 roky				3 roky			
Mísa WC	Kód součásti	S demontáží	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
Umytí		NE				D				D				D
Těsnost						D				D				D
Servisní test						K				K				Dia
Vstupní ventil	M-03	ANO												K/V
Výstupní ventil	M-04													K/V
Tlakový snímač	M-06													
Čidlo hladiny WC	M-05					K				K				K+S
Připojovací konektory						K				K				K
Pertiferie pro ochranu proti mrazu - servisní test														K
Celková K, V pošk. částí														K/V

Obr. č. 5.1: Ukázka grafického zpracování údržbového plánu [Autor]

5.2.1 Stupeň údržby A1

Jedná se o základní každoroční údržbu modulu. Na skupině mísa WC (M) se provádí se následující úkony:

- Umytí mísy WC (doporučeno).
- Kontrola těsnosti napojení a komponentů mísy (doporučeno).

- Servisní test mísy (kontrola). Tento úkon se neprovádí ve stupni preventivní údržby A3 a stupních vyšších.
- Kontrola čidla hladiny WC M-06. Tento úkon se neprovádí ve stupni preventivní údržby A3 a stupních vyšších.
- Kontrola připojovacích konektorů mísy.

Na skupině dveře (D) se provádí následující úkony:

- Kontrola plynulého pohybu dveří.
- Kontrola zavěšení dveří.
- Kontrola seřízení zdvihu dveří. Tento úkon se neprovádí ve stupni preventivní údržby A3 a stupních vyšších.
- Servisní test elektroniky dveří (kontrola).
- Kontrola ochrany proti přivření dveřmi.

Na skupině vodní a odpadní hospodářství (VaOH) se provádí následující úkony:

- Kontrola těsnosti potrubí čisté vody.
- Kontrola těsnosti odpadního potrubí.
- Vizuální kontrola neporušenosti odpadní nádrže.

Na skupině vybavení modulu (V) se provádí následující úkony:

- Kontrola funkce a těsnosti podlahoviny. Tento úkon se neprovádí ve stupni preventivní údržby A15.
- Kontrola přítomnosti kompletnosti modulu
- Kontrola pneumatických prvků
- Kontrola elektronických prvků

5.2.2 Stupeň údržby A2

Jedná se o pravidelnou údržbu v dvouletém cyklu. V tomto stupni údržby se na rozdíl od stupně A1 navíc provádí kontrola tažného řemene dveří. Tento úkon se neprovádí ve stupni preventivní údržby A15.

5.2.3 Stupeň údržby A3

Jedná se o pravidelnou údržbu probíhající v tříletém cyklu. V tomto stupni údržby se na skupině M na rozdíl od stupně A1 navíc provádí:

- Kontrola, případná výměna nebo repase vstupního ventilu M-03. Tento úkon se neprovádí ve stupni preventivní údržby A6 a A12.
- Kontrola, případná výměna nebo repase výstupního ventilu M-04. Tento úkon se neprovádí ve stupni preventivní údržby A6 a A12.
- Kompletní diagnostika mísy místo servisního testu.
- Rozšířená kontrola včetně kalibrace a seřízení čidla mísy M-05 místo běžné kontroly.
- Důkladná kontrola všech součástí mísy.

V tomto stupni údržby se na skupině D na rozdíl od stupně A1 navíc provádí předpokládané seřízení zdvihu dveří místo běžné kontroly.

Ve stupni A3 plánované údržby se na skupině VaOH na rozdíl od stupně A1 navíc provádí:

- Kontrola nebo případná výměna elektromagnetického ventilu vypouštění vodojemu při mrazu VaOH-04-04. Tento úkon se neprovádí ve stupni preventivní údržby A6 a A12.
- Kontrola nebo případná výměna elektromagnetického ventilu k WC VaOH-04-07. Tento úkon se neprovádí ve stupni preventivní údržby A6 a A12.
- Výměna topnice bojleru VaOH-03-01.
- Kontrola nebo případná výměna snímače hladiny vodojemu VaOH-01-01.
- Kontrola nebo případná výměna pryžových komponent potrubí k odpadní nádrži.
- Kontrola nebo případná výměna snímače hladiny v odpadní nádrži signalizujícího 80% naplnění nádrže VaOH-01-02. Tento úkon se neprovádí ve stupni preventivní údržby A6 a A12.
- Výměna snímače hladiny v odpadní nádrži signalizujícího 100% naplnění nádrže VaOH-01-03.

V tomto stupni údržby se na skupině V na rozdíl od stupně A1 navíc provádí kontrola případná výměna ventilátoru topení V-04-13. Tento úkon se neprovádí ve stupni preventivní údržby A6 a A12.

5.2.4 Stupeň údržby A6

Jedná se o pravidelnou údržbu v šestiletém cyklu. Schází se zde všechny předešlé údržbové stupně A1, A2 a A3. V tomto stupni na rozdíl od předešlých na skupině M provádí:

- Výměna vstupního ventilu M-03.
- Výměna výstupního ventilu M-04.
- Výměna snímače tlaku M-06.

Na skupině VaOH se na rozdíl od předešlých stupňů údržby provádí:

- Výměna snímače hladiny v odpadní nádrži signalizujícího 80% naplnění nádrže VaOH-01-02.
- Výměna elektromagnetického ventilu k WC VaOH-04-07.
- Výměna elektromagnetického ventilu vypouštění vodojemu při mrazu VaOH-04-04.

V tomto stupni údržby se na skupině V na rozdíl od stupně A3 navíc provádí kontrola výměna ventilátoru topení V-04-13.

5.2.5 Stupeň údržby A12

Z důvodu nepotřebnosti využití údržby v cyklu 10 let se přeskakuje stupeň údržby A10. V 10 letech života modulu se provádí standardní údržba rozsahu A2.

Stupeň údržby A12 se provádí ve dvanáctiletém cyklu. Oproti údržbovému stupni A6 se na skupině D provádí následující úkony:

- Výměna tažného řemene
- Výměna akumulátoru řídicí jednotky

Na skupině VaOH se navíc provádí výměna pryžových komponent potrubí k odpadní nádrži.

5.2.6 Stupeň údržby A15

Jedná se o opravu po 15 letech provozu. V tomto stupni se oproti stupni A3 provádí generální oprava dveří, která zahrnuje jejich kompletní demontáž, výměnu většiny komponent, externí seřízení a opětovnou montáž do modulu včetně všech kontrol a seřízení.

Ve skupině V je vyměněna podlahovina za novou.

6 Výpočet LCC

Výpočet nákladů na životní cyklus modulu se v tomto případě skládá ze 4 základních částí. První část je tvořena náklady na preventivní údržbu, druhou část tvoří náklady na údržbu po poruše. Třetí částí jsou náklady na logistiku, které tvoří převážně poštovné na zásilky a výjezdy na údržbu po poruše. Poslední částí je pořizovací cena samotného sanitárního modulu.

Celý výpočet LCC byl koncipován tak, aby vytvořený dokument mohl být využit pro potřeby obdobných výpočtů jiných typů vyráběných sanitárních modulů při různých požadavcích provozovatele.

6.1 Náklady na preventivní údržbu

Náklady na preventivní údržbu vychází z uspořádání údržbového plánu modulu. Výpočet nákladů na preventivní údržbu jsem provedl stupňovitě tzn. vypočítal jsem náklady na jedno provedení stupně údržby A1. Následně jsem analyzoval úkony, které pozbývají smysl ve vyšších údržbových stupních. Náklady na tyto úkony byly pak uloženy do odpočtové tabulky. Poté jsem provedl výpočet pro jedno provedení stupně údržby A2. Náklady, které byly uvedeny v odpočtové tabulce pro stupeň A2, byly od nákladů na provedení stupně A2 odečteny. Ve stupni A2 se opět mohou vyskytovat úkony, jejichž provedení postrádá smysl v dalších stupních údržby. Proto jsou opět uloženy do odpočtové tabulky. Tento postup je analogicky aplikován na následující údržbové stupně.

Z důvodu značné rozsáhlosti všech výpočtů nákladů na provedení preventivní údržby je celý dokument včetně údržbového plánu veden jako elektronická příloha J. Níže je vysvětlen postup výpočtu pro jeden údržbový stupeň A1.

6.1.1 Výpočet nákladů na provedení údržbového stupně A1

Přehled výpočtů je uveden v tabulce č. 6.1.

Tabulka č. 6.1: Výpočet nákladů jednotlivých úkonů údržbového stupně A1 [Autor]

Lokace	Demontáž	Součást/vlastnost	Úkon	Pracnost	Pracovníků	Materiál	Práce	Celkem	Nepostupuje do stupně (nejbližší vyšší)					
									A2	A3	A6	A10	A12	A15
Mísa WC	Ne	Mísa WC	Umytí	15 min	1	5 Kč	223 Kč	228 Kč						
	Ne	Mísa WC	Kontrola těsnosti	0 min	0	0 Kč	0 Kč	0 Kč						
	Ne	Mísa WC	Servisní test	2 min	1	0 Kč	30 Kč	30 Kč		ANO				
	Ne	Čidlo hladiny WC M-05	Kontrola	0 min	1	0 Kč	0 Kč	0 Kč		ANO				
Dveře	Ne	Připojovací konektory	Kontrola	1 min	1	0 Kč	15 Kč	15 Kč		ANO				
	Ne	Plynulý pohyb	Kontrola	1 min	1	0 Kč	7 Kč	7 Kč						ANO
	Ne	Zavěšení dveří	Kontrola	0 min	1	0 Kč	0 Kč	0 Kč						ANO
	Ne	Seřízení zdvihu (výškové seřízení)	Kontrola	0 min	1	0 Kč	0 Kč	0 Kč		ANO				
	Ne	Dveře - elektronika	Servisní test (diagnostika)	3 min	1	0 Kč	45 Kč	45 Kč						ANO
VaOH	Ne	Ochrana proti přivření	Kontrola	1 min	1	0 Kč	15 Kč	15 Kč						ANO
	Ne	Těsnost potrubí čisté vody	Kontrola	5 min	1	0 Kč	74 Kč	74 Kč						
	Ne	Těsnost odpadního potrubí	Kontrola	3 min	1	0 Kč	45 Kč	45 Kč						
	Ne	Odpadní nádrž	Kontrola	0 min	1	0 Kč	0 Kč	0 Kč			ANO			
Komponenty modulu	Ne	Funkce a těsnost podlahoviny	Kontrola	1 min	1	0 Kč	15 Kč	15 Kč						ANO
	Ne	Zařizovací předměty - přítomnost	Kontrola	1 min	1	0 Kč	15 Kč	15 Kč						
	Ne	Pneumatické prvky	Kontrola	0 min	1	0 Kč	0 Kč	0 Kč						
	Ne	Elektro prvky	Kontrola	0 min	1	0 Kč	0 Kč	0 Kč						

Výše uvedená tabulka č. 6.1 se řídí rozdělením modulu do skupin dle kapitoly 4.1. V druhém sloupci je vždy předepsán požadavek na demontáž součásti. Následující dva sloupce přesně určují prvek a předepsaný servisní úkon.

Sloupec „pracnost“ vyjadřuje potřebný čas k vykonání úkonu. V případě, kde je uvedena nulová pracnost, je tento úkon sdružen s úkonem jiným. V tomto údržbovém stupni se kontrola těsnosti mísy, funkce čidla hladiny v míse, pneumatických prvků a elektronických prvků provádí zároveň při provádění servisního testu mísy. Kontrola seřízení zdvihu dveří je provedena jejich otevřením, kontrola zavěšení dveří je provedena vizuálně při otevírání dveří. Kontrola odpadní nádrže je provedena pohledově.

Na provedení celého údržbového stupně je potřeba 1 pracovník. Ve sloupci „materiál“ je uvedena cena za použitý materiál. Tato položka je vyplněna pouze u úkonu umytí mísy, kde je potřeba užití desinfekčního prostředku. Ostatní plánované úkony jsou prováděny bez nutnosti užití náhradních dílů či aplikace materiálních prostředků.

Sloupec „práce“ je počítán dle vzorce:

$$Práce = Počet\ pracovníků \cdot \frac{Pracnost}{60} \cdot sazba\ pracovníka\ servisu \quad (6.1)$$

Kde pracnost [min] je doba potřebná k provedení úkonu plánované údržby, jmenovatel zlomku je přepočtový koeficient jednotek na hodiny a hodinová sazba pracovníka servisu [Kč/h] je částka, která je účtována za hodinu práce servisního technika, výpočet užívá částku 890 Kč/h. Výsledkem je cena práce [Kč].

Celková částka za provedení úkonu je získána součtem:

$$Celkem = Materiál + Práce \quad (6.2)$$

Posledních 6 sloupců tabulky je určeno pro určení vyššího údržbového stupně, kde úkon buď nebude proveden, nebo je proveden v rámci jiného údržbového úkonu. Pokud je do příslušného pole vepsáno „ANO“, pak se tento úkon v příslušném údržbovém stupni odečítá.

Z takto sestaveného výpočtu vyplyne tabulka č. 6.2 pro odpočty do dalších údržbových stupňů a tabulka č. 6.3 souhrnných hodnot.

Tabulka č. 6.2: Odpočty z údržbového stupně A1 pro stupně vyšší [Autor]

Stupeň	Pracnost	Materiál	Práce	Celkem
A2	0 min	0,0 Kč	0,0 Kč	0,0 Kč
A3	3 min	0,0 Kč	44,5 Kč	44,5 Kč
A6	0 min	0,0 Kč	0,0 Kč	0,0 Kč
A10	0 min	0,0 Kč	0,0 Kč	0,0 Kč
A12	0 min	0,0 Kč	0,0 Kč	0,0 Kč
A15	6 min	0,0 Kč	81,6 Kč	81,6 Kč

Tabulka č. 6.3: Souhrny pro údržbový stupeň A1 [Autor]

	Pracnost	Materiál	Práce	Celkem
Celkem za stupeň:	33 min	5 Kč	482 Kč	487 Kč
Celkem navíc:	33 min	5 Kč	482 Kč	487 Kč

V řádku „celkem navíc“ jsou uvedeny hodnoty, o které narůstají veličiny na rozdíl od předcházejících stupňů údržby. Řádek „celkem za stupeň“ je vypočten následovně:

$$\text{Celkem za stupeň} = \text{Předchozí stupeň} + \text{Celkem navíc} - \text{Odpočty} \quad (6.3)$$

Kde odpočty jsou sumou všech odpočtů ze všech předchozích údržbových stupňů. V tomto případě jsou hodnoty v řádcích tabulky č. 6.3 totožné, protože se jedná o první údržbový stupeň.

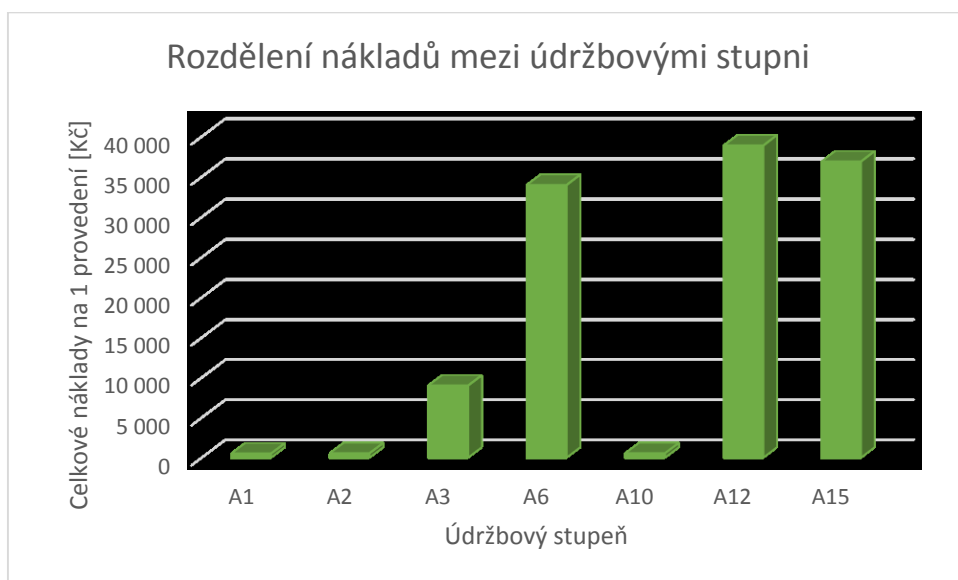
6.1.2 Výpočet celkových nákladů na preventivní údržbu

Souhrn výsledných hodnot pro provedení jednotlivých údržbových stupňů je uveden v tabulce č. 6.4. Grafické znázornění nákladnosti provedení jednotlivých stupňů údržby je zachyceno na obr. č. 6.1.

Tabulka č. 6.4: Souhrny pro údržbové stupně [Autor]

Údržbový stupeň	Pracnost [min]	Materiál [Kč]	Práce [Kč]	Celkem [Kč]
A1	32,5	5,0	482,1	487,1
A2	35,0	5,0	519,2	524,2
A3	223,0	5 667,5	3 307,8	8 975,3
A6	252,0	30 217,5	3 738,0	33 955,5
A10	35,0	5,0	519,2	524,2
A12	334,5	33 905,0	4 961,8	38 866,8
A15	940,5	19 367,5	17 510,8	36 878,3

Správnost provedení výpočtů lze ověřit rovností hodnot v řádcích pro údržbové stupně A2 a A10, jelikož stupeň A10 na rozdíl od stupně A2 neobsahuje žádné specifické úkony.



Obr. č. 6.1: Náklady na provedení jednoho údržbového stupně [Autor]

Celkové náklady na preventivní údržbu jsou pak určeny jako násobky počtu provedení údržbových stupňů, přičemž se plánovaná údržba v posledním roce životnosti modulu neuvažuje. Souhrn nákladů na preventivní údržbu za 30 let životnosti modulu je uveden v tabulce č. 6.5. Tento souhrn je graficky zpracován na obr. č. 6.2.

Tabulka č. 6.5: Souhrny nákladů za 30 let preventivní údržby [Autor]

Údržbový stupeň	Perioda [roky]	Počet provedení za 30 let	Pracnost [min]	Materiál [Kč]	Práce [Kč]	Celkem [Kč]
A1	1	10	325,0	50,0	4 820,8	4 870,8
A2	2	8	280,0	40,0	4 153,3	4 193,3
A3	3	4	892,0	22 670,0	13 231,3	35 901,3
A6	6	2	504,0	60 435,0	7 476,0	67 911,0
A10	10	2	70,0	10,0	1 038,3	1 048,3
A12	12	2	669,0	67 810,0	9 923,5	77 733,5
A15	15	1	940,5	19 367,5	17 510,8	36 878,3
Celkem:			3 680,5	170 382,5	58 154,1	228 536,6



Obr. č. 6.2: Náklady na údržbové stupně za 30 let [Autor]

6.2 Náklady na údržbu po poruše

Náklady na údržbu po poruše lze vyčíslit z údajů o počtu poruch vzniklých za 30 let provozu modulu a průměrné ceny opravy součástí.

Průměrná cena opravy se opět skládá ze složky materiálové a pracnosti. U ceny materiálu na výměnu je provedena korekce z důvodu požadavku provozovatele na opravu prvku místo jeho výměny. U prvků VaOH-03-01, VaOH-04-04, VaOH-04-07 a V-04-13 se nepředpokládá výměna po poruše. U snímače hladiny ve vodojemu VaOH-01-01 nelze použít vypočtené hodnoty počtu poruch kvůli skutečnosti, že původní typ snímače

(hliníkový) byl z důvodu vysoké poruchovosti v důsledku elektrolytických procesů již vyměněn na všech vozech za typ jiný (nerezový). Hodnoty poruchovosti tohoto prvku byly odhadnuty na základě zkušenosti výrobce. Veškeré údaje pro všechny sledované součásti jsou uvedeny v elektronické příloze J. Výpočet využívá následujících vzorců 6.4 až 6.8.

Pracnost [min] za 30 let:

$$Pracnost = N \cdot Pracnost_{1P} \quad (6.4)$$

Kde $N [-]$ je vypočítaný počet poruch za 30 let a $pracnost_{1P}$ [min] je pracnost opravy jedné poruchy.

Cena práce [Kč] za 30 let je pak vyčíslena následovně:

$$Práce = Pracnost \cdot sazba\ pracov\ níka\ servisu \quad (6.5)$$

Přičemž sazba pracovníka servisu je uvažována ve výši 890 Kč/h.

Cena materiálu [Kč] za 30 let je vypočtena vzorcem:

$$Materiál = N \cdot Materiál_{1P} \quad (6.6)$$

Kde $N [-]$ je vypočítaný počet poruch za 30 let a $materiál_{1P}$ [Kč] je průměrná cena materiálu na jednu poruchu.

Celkové náklady na obnovu prvku po poruše pak lze vyčíslit následovně:

$$Celkem = Práce + Materiál \quad (6.7)$$

Celkové náklady na údržbu po poruše jsou vyčísleny jako suma sledované veličiny přes všechny prvky. Tabulka č. 6.6 shrnuje náklady na údržbu po poruše za 30 let.

Tabulka č. 6.6: Souhrny nákladů za 30 let údržby po poruše [Autor]

	Pracnost	Materiál	Práce	Celkem
Celkem:	2 058 min	197 518 Kč	30 523 Kč	228 041 Kč

Prvních 5 prvků s nejvyššími náklady na práci při údržbě po poruše je uvedeno v tabulce č. 6.7.

Tabulka č. 6.7: Prvky s nejvyššími náklady na práci při údržbě po poruše [Autor]

Označení	Název	Náklady [Kč]
M-04	Výstupní ventil	37 523
VaOH-01-01	Snímač hladiny ve vodojemu	30 000
M-08	Vodní ventil	27 469
M-05	Čidlo hladiny v míse	23 381
M-03	Vstupní ventil	16 804

Prvních 5 prvků s nejvyššími náklady na materiál při údržbě po poruše je uvedeno v tabulce č. 6.8.

Tabulka č. 6.8: Prvky s nejvyššími náklady na materiál při údržbě po poruše [Autor]

Označení	Název	Náklady [Kč]
VaOH-04-08	Cívka k ventilu	4 048
M-09	Přepínací tlakový ventil	3 828
M-08	Vodní ventil	3 632
M-06	Tlakový senzor	3 504
VaOH-04-06	Elmag. ventil umývadla	2 479

Prvních 5 prvků s nejvyššími celkovými náklady při údržbě po poruše je uvedeno v tabulce č. 6.9.

Tabulka č. 6.9: Prvky s celkovými nejvyššími náklady při údržbě po poruše [Autor]

Označení	Název	Náklady [Kč]
M-04	Výstupní ventil	39 092
VaOH-01-01	Snímač hladiny ve vodojemu	32 003
M-08	Vodní ventil	31 100
M-05	Čidlo hladiny v míse	25 203
M-03	Vstupní ventil	18 702

6.3 Náklady na logistiku údržby po poruše (LCC)

Do celkových nákladů na životní cyklus je potřeba započítat náklady na logistiku vzniklou v důsledku údržby po poruše. Tyto náklady byly vypočteny z následujících údajů za rok 2015.

Na vozy s tímto sanitárním modulem bylo provedeno celkem 19 výjezdů na údržbu po poruše a bylo zasláno 26 zásilek s náhradními díly. Cena jednoho výjezdu je vyčíslena

na 2 000 Kč, průměrná cena za zaslání jedné zásilky je 163 Kč. Celkové náklady na logistiku pro jeden vůz pak jsou určeny následovně:

$$Logistika = \frac{19 \cdot 2000 + 26 \cdot 163}{236} = 179 \text{ Kč/rok} \quad (6.8)$$

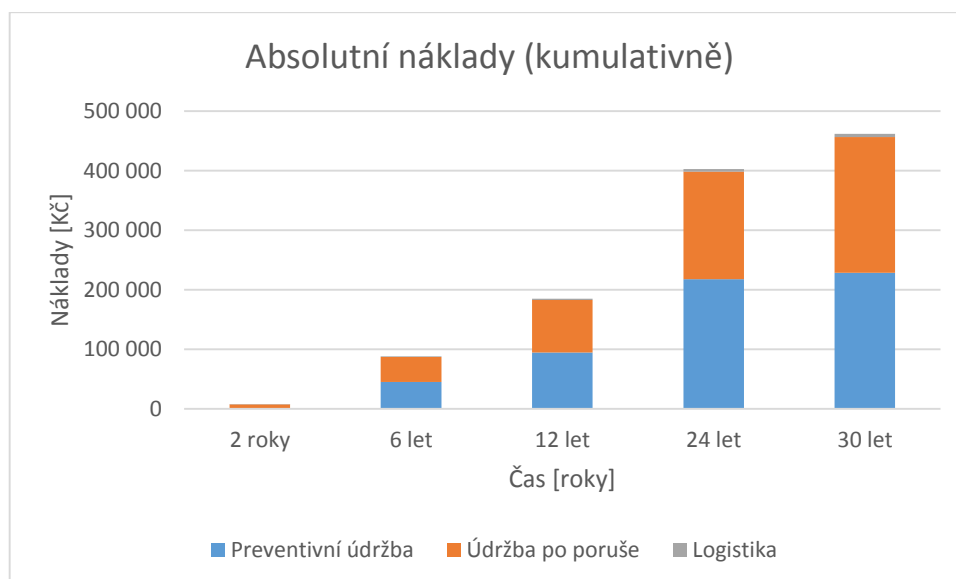
6.4 Výsledky LCC

Pro dobrou vizualizaci je zpracována tabulka č. 6.10, která udává náklady na údržbu pro různé fáze životního cyklu.

Tabulka č. 6.10: Souhrny nákladů na údržbu za 30 let [Autor]

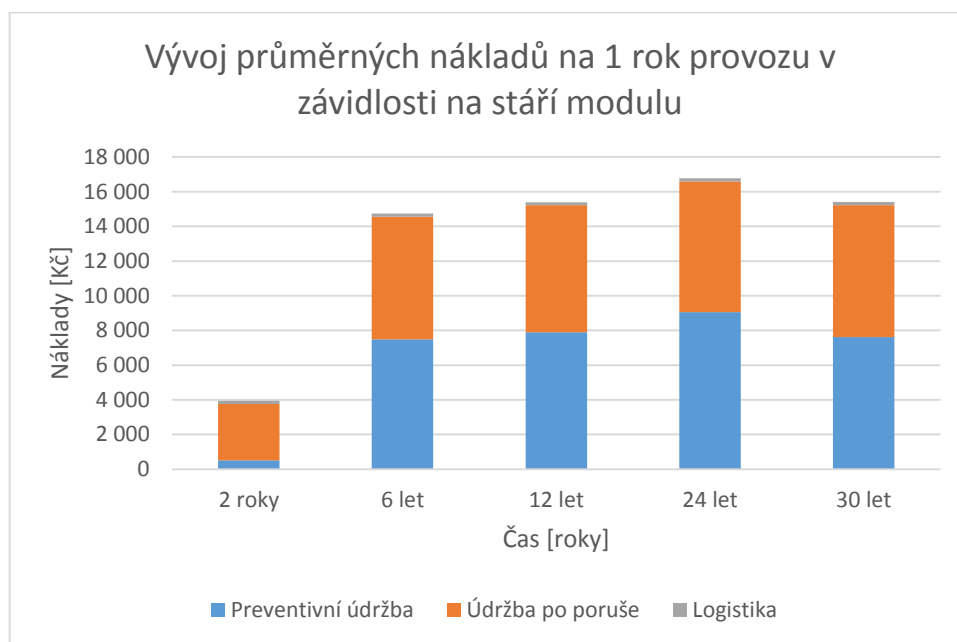
	Preventivní údržba				Údržba po poruše				Logistika	LCC
	Pracnost [min]	Materiál [Kč]	Práce [Kč]	Celkem [Kč]	Pracnost [min]	Materiál [Kč]	Práce [Kč]	Celkem [Kč]	Celkem [Kč]	Celkem [Kč]
2 roky	68	10	1 001	1 011	37	5 968	549	6 517	358	7 886
6 let	610	35 905	9 048	44 953	378	36 802	5 601	42 403	1 074	88 430
12 let	1 303	75 498	19 320	94 818	784	76 176	11 626	87 802	2 148	184 768
24 let	3 323	164 695	52 844	217 539	1 621	156 711	24 048	180 760	4 295	402 594
30 let	3 681	170 383	58 154	228 537	2 058	197 518	30 523	228 041	5 369	461 947

Postupný nárůst nákladů v různých fázích života modulu graficky zpracovává obr. č. 6.3.



Obr. č. 6.3: Nárůst nákladů na údržbu [Autor]

Náklady na údržbu vyjádřené v peněžních jednotkách na jeden rok provozu v různých fázích života modulu pak znázorňuje graf na obr. č. 6.4.



Obr. č. 6.4: Náklady na rok provozu [Autor]

Podíl složek údržby pak znázorňuje graf na obr.č. 6.5.



Obr. č. 6.5: Složky nákladů na údržbu za 30 let [Autor]

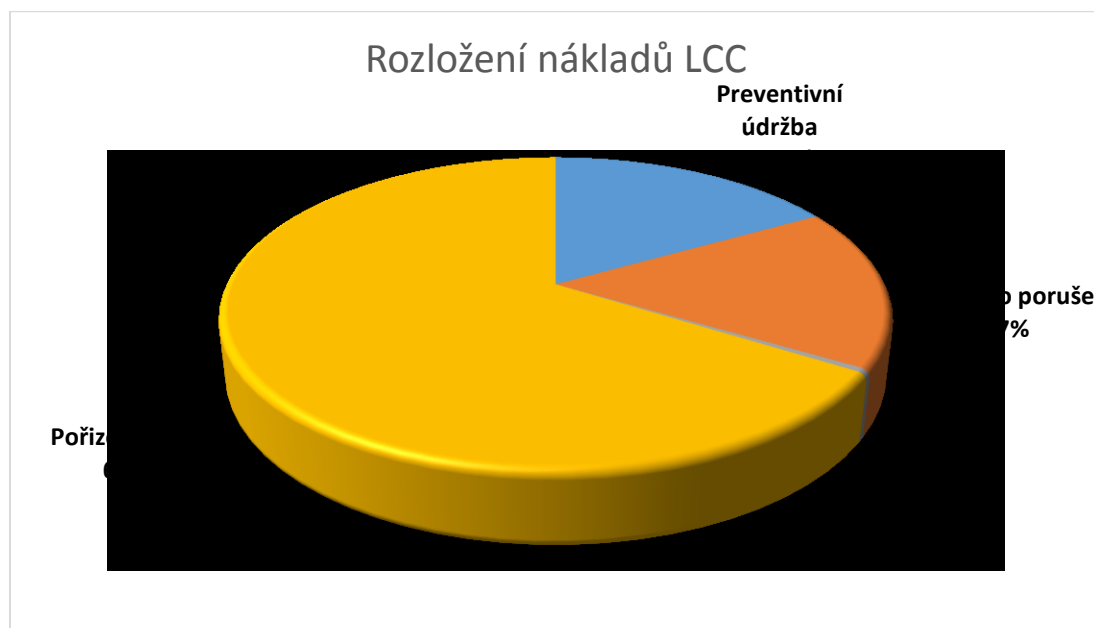
Kde PÚ značí preventivní údržbu a ÚpP značí údržbu po poruše.

Poslední položkou, kterou je potřeba započítat je pořizovací cena samotného sanitárního modulu. Sanitární modul řady 0160 byl dodáván provozovateli za 900 000 Kč za kus.

Náklady na životní cyklus modulu při takto navrženém údržbovém plánu a těchto získaných datech o poruchách jsou uvedeny v tabulce č. 6.11 a jsou graficky zpracována na obr. č. 6.6.

Tabulka č. 6.11: Náklady na životní cyklus [Autor]

Preventivní údržba	228 537 Kč
Údržba po poruše	228 041 Kč
Logistika po poruše	5 369 Kč
Cena modulu	900 000 Kč
Celkem	1 361 947 Kč



Obr č. 6.6: Rozložení nákladů LCC [Autor]

7 Technicko-ekonomické zhodnocení

Celková částka nákladů LCC za 30 let provozu sanitárního modulu byla vypočtena na 1 361 947 Kč při cenách platných pro rok 2016. Tato výsledná částka je tvořena z 66,1% pořizovacími náklady, 16,8% tvoří náklady na preventivní údržbu, 16,7% tvoří náklady na údržbu po poruše a náklady na logistiku v důsledku údržby po poruše jsou v rámci nákladů na celý životní cyklus zanedbatelné.

Z celkových nákladů na údržbu 461 947 Kč tvoří náklady na preventivní údržbu 49,5% a 50,5% tvoří náklady na údržbu po poruše. Náklady na preventivní údržbu jsou pak složeny z nákladů na práci, které tvoří 12,6% z celkové částky na údržbu, a z nákladů na materiál, které tvoří 36,9% z celkové částky na údržbu. Náklady na údržbu po poruše jsou složeny z nákladů na práci, které tvoří 6,6% z celkové částky na údržbu, nákladů na materiál, které tvoří 42,8%, a nákladů na logistiku, které tvoří 1,2% z celkové částky na údržbu.

Z výpočtů nákladů na údržbu po poruše vyplývá, že mezi nejvíce nákladné prvky patří výstupní ventil M-04, který se na LCC podílí 2,87% a na nákladech na údržbu po poruše 17,14%. Takto vysoké náklady lze přisuzovat vyššímu zatížení výstupního ventilu oproti konstrukčně shodnému vstupnímu ventilu, který se opotřebovává přibližně třikrát pomaleji. Náklady je možné snížit repasí ventilu, avšak za cenu rizika vyšší poruchovosti.

Druhým v pořadí je snímač hladiny vodojemu VaOH-01-01, který je měněn přibližně třikrát za život modulu a tvoří 2,2% LCC a 13,16% z nákladů na údržbu po poruše. Vysoké náklady jsou tvořeny především vysokou cenou materiálu. Snížení nákladů na údržbu tohoto prvku může být značně problematické, neboť v případě použití plováku z hliníku dochází k rychlému opotřebení v důsledku průběhu elektrolytických procesů ve vodojemu. Tento nežádoucí jev byl pozorován na první sérii modulů, a proto opětovné nasazení hliníkových plováků nepřipadá v úvahu. Další možností je najít levnějšího dodavatele těchto dílů.

Třetím nejnákladnějším prvkem na údržbu po poruše je vodní ventil M-08, který tvoří 2,28% LCC a 13,64% z nákladů na údržbu po poruše. Tento prvek obsadil také třetí příčky v nákladech na materiál a na práci. Z důvodu jedinečnosti vodního ventilu není možné tento prvek z hlediska nákladů na údržbu nijak nahradit.

Čtvrtým nejnákladnějším prvkem na údržbu po poruše je čidlo hladiny v míse M-05. Náklady na údržbu tvoří 1,85% z LCC a 11,05% z celkových nákladů na údržbu po poruše. Protože se jedná o elektronický prvek, který je již preventivně kontrolován a diagnostikován, není možné náklady již více snížit.

Pátým prvkem v žebříčku nenákladnějších prvků na údržbu po poruše je vstupní ventil M-03, který tvoří 1,37% z LCC a 8,2% z celkových nákladů na údržbu po poruše. Náklady je možné snížit repasí ventilu, avšak za cenu rizika vyšší poruchovosti.

Náklady na preventivní údržbu se skládají z nákladů na provedení jednotlivých údržbových stupňů a počtem jejich opakování v průběhu životního cyklu modulu. Nejvíce nákladný je údržbový stupeň A12, který se provádí dvakrát za celý život modulu. V tomto stupni údržby je zahrnuta údržba rozsahu A6, kdy se navíc provádí výměna tažného řemene dveří, mění se akumulátor řídící jednotky dveří a jsou kompletně měněny pryžové komponent potrubí k odpadní nádrži.

Druhým nejnákladnějším stupněm je právě zmiňovaný stupeň preventivní údržby A6, který se provádí dvakrát za životní cyklus a zároveň je obsažen ve stupni A12, který je proveden rovněž dvakrát. Zde probíhá rozsáhlá výměna funkčních součástí modulu, která zahrnuje výměnu drahých komponent především vstupního a výstupního ventilu.

Údržbový stupeň A15 se při jednotlivém provedení jeví jako velmi nákladný z důvodu, že probíhá generální oprava dveří. Jelikož tato oprava probíhá jednou za život, jsou náklady na její provedení přijatelné.

Údržbový stupeň A3 se naopak při jednotlivém provedení jeví jako nepříliš finančně náročný, avšak v důsledku čtyřnásobného opakování náklady narostou přibližně na úroveň provedení údržbového stupně A15.

Údržbové stupně A1 a A2 se v celkovém hodnocení nákladů na preventivní údržbu projevují nevýrazně. Údržbový stupeň A10 neobsahuje žádné zvláštní úkony, tudíž se na nákladech nepodílí jinak než obsahem údržbového stupně A2.

Plán údržby z důvodu snahy o optimalizaci nákladů obsahuje pouze ty nejpotřebnější úkony, které převážně obsahují prvky MSI a ESI. Tento přístup se projevuje na značném

podílu údržby po poruše, což v provozních podmínkách České republiky není tak velký problém jako například v provozních podmínkách v západních zemích. V případě potřeby užívání těchto vozů v zahraničí je vhodné přepracovat plán údržby v duchu co možná největšího zabránění vzniku poruchy modulu během provozu.

V rámci snížení nákladů na údržbu snímače hladiny v odpadní nádrži doporučuji zavést diagnostickou funkci, která by byla schopna odhalit poruchu tohoto snímače. V případě zavedení této diagnostické funkce by došlo k tomu, že by byla odhalena porucha v jiných případech, než v případě naplnění nádrže na 100%, kdy zareaguje druhý snímač. Nedošlo by tak k úplnému naplnění odpadní nádrže a uzamčení modulu (nežádoucí stav za provozu).

8 Závěr

V diplomové práci jsem vypočítal spolehlivostní charakteristiky dílčích součástí sanitárního modulu, celkem bylo sledováno v provozu 236 modulů s délkou sběru dat 6 let. Navrhnul jsem plán preventivní údržby na dobu života modulu. Tento plán se řídí požadavky na intervaly preventivní údržby provozovatele, celkem obsahuje 6 stupňů údržby s využitím principu, že vyšší stupeň obsahuje úkony nižšího stupně. Při sestavování údržbového plánu jsem pomocí optimalizace zohlednil náklady, kde optimalizační kritérium byly náklady na údržbu v závislosti na intervalu preventivní výměny součástí. V závěrečné části práce jsem vypočítal náklady na celý životní cyklus modulu a provedl rozbor složek nákladů na životní cyklus.

V diplomové práci jsem dospěl k závěru, že výsledná hodnota nákladů životního cyklu sanitárního modulu 0160 při navrženém údržbovém plánu a předpokládanou délkou života 30 let v provozních podmínkách v ČR a cenách aktuálních pro rok 2016 je 1 361 947 Kč.

Dalším dílčím závěrem diplomové práce je návrh na zavedení diagnostické funkce snímačů hladiny v odpadní nádrži. Diagnostická funkce se týká snímače 80% naplnění odpadní nádrže a tato diagnostická funkce by umožnila snížit náklady na preventivní údržbu.

Dále doporučuji, aby byl zaveden vhodnější systém sběru dat o poruchách z jednotlivých dep, kde probíhají opravy těchto modulů, neboť v současné době nejsou všechny poruchy hlášeny výrobcí. Z těchto dat by bylo možné provedení přesnějších výpočtů s potenciálem zpřesnění průběhu LCC. Tyto přesnější výsledky výpočtů pro jednotlivé součásti by mohly být vhodným vstupem pro výpočty LCC modulů nových typů využívajících stejné funkční součásti.

Výsledky diplomové práce je možné využít při vývoji nových typů sanitárních modulů, které jsou postaveny na podobné konstruční bázi. Některé části práce jsou taktéž využitelné při sestavování plánu preventivní údržby a výpočtu LCC u obdobných zařízení.

Seznam obrázků

Obr. č. 2.1: Sanitární modul VKV 0160.	10
Obr. č. 3.1: Vanová křivka modernizovaného výrobku	12
Obr. č. 3.2: Hustota pravděpodobnosti (vlevo) a distribuční funkce (vpravo) exponenciálního rozdělení	13
Obr. č. 3.3: Hustota pravděpodobnosti (vlevo) a distribuční funkce (vpravo) pro W2P s různými hodnotami parametru m	15
Obr. č. 3.4: Schéma nákladů na spolehlivost	22
Obr. č. 3.5: Křivka nákladů na údržbu a její minimum.....	26
Obr. č. 4.1: Rozhodování o způsobu výpočtu počtu poruch	33
Obr. č. 4.2: Graf lineární regrese.....	35
Obr. č. 4.3: Graf průběhu počtu poruch	42
Obr. č. 4.4: Graf průběhu celkových nákladů na údržbu	42
Obr. č. 5.1: Ukázka grafického zpracování údržbového plánu	45
Obr. č. 6.1: Náklady na provedení jednoho údržbového stupně	54
Obr. č. 6.2: Náklady na údržbové stupně za 30 let.....	55
Obr. č. 6.3: Nárůst nákladů na údržbu.....	58
Obr. č. 6.4: Náklady na rok provozu	59
Obr. č. 6.5: Složky nákladů na údržbu za 30 let.....	59
Obr. č. 6.6: Rozložení nákladů LCC	60

Seznam tabulek

Tabulka č. 3.1: Značení zkušebních plánů	20
Tabulka č. 4.1: Dekompozice modulu	28
Tabulka č. 4.2: Doby do poruchy vstupního ventilu WC M-03.....	31
Tabulka č. 4.3: První tři výpočty distribuční funkce výběrového rozdělení pravděpodobnosti.....	34
Tabulka č. 4.4: Výpočet hodnoty Y	34
Tabulka č. 4.5: Tabelární přehled hodnot po lineární regresi	35
Tabulka č. 4.6: Tabelární přehled hodnot W2P	36
Tabulka č. 4.7: Výpočet rozdílů distribučních funkcí.....	37
Tabulka č. 4.8: Výpočet rozdílů distribučních funkcí.....	38
Tabulka č. 4.9: Výpočet rozdílů distribučních funkcí.....	40
Tabulka č. 4.10: Výpočet nákladů na údržbu pro různé intervaly prev. údržby	41
Tabulka č. 5.1: Intervaly preventivní údržby	44
Tabulka č. 6.1: Výpočet nákladů jednotlivých úkonů údržbového stupně A1	51
Tabulka č. 6.2: Odpočty z údržbového stupně A1 pro stupně vyšší	53
Tabulka č. 6.3: Souhrny pro údržbový stupeň A1.....	53
Tabulka č. 6.4: Souhrny pro údržbové stupně	54
Tabulka č. 6.5: Souhrny nákladů za 30 let preventivní údržby.....	55
Tabulka č. 6.6: Souhrny nákladů za 30 let údržby po poruše	56
Tabulka č. 6.7: Prvky s nejvyššími náklady na práci při údržbě po poruše	57
Tabulka č. 6.8: Prvky s nejvyššími náklady na materiál při údržbě po poruše	57
Tabulka č. 6.9: Prvky s celkovými nejvyššími náklady při údržbě po poruše.....	57
Tabulka č. 6.10: Souhrny nákladů na údržbu za 30 let	58
Tabulka č. 6.11: Náklady na životní cyklus	60

Seznam použité literatury

- [1] ARION spol s.r.o., VKV Praha [online], [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: <http://www.vkvpraha.cz/>
- [2] ŠKROBAL, D., FRIML, V., HORKEK, S. Fotografická dokumentace modulu [fotografie]. Studénka, vůz typu 914, 2010.
- [3] FAMFULÍK, J., KRZYŽANEK, R., GALVAS, P., Zkoušky spolehlivosti – vybrané stochastické metody [online], [cit. 2016-05-08]. VŠB-TUO, Ostrava, 2009, 69 s. Dostupné z: <http://vyuka.fs.vsb.cz/mod/resource/view.php?id=5404>
- [4] FAMFULÍK, J., MÍKOVÁ, J., KRZYŽANEK, R., Teorie údržby, Ostrava 2007, ISBN 978-50-248-1509-1. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TU/TU/>
- [5] OTIPKA, P., ŠMAJSTRLA, V., Pravděpodobnost a statistika [online], [cit. 2016-04-25] Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/>
- [6] MACÁKOVÁ, Libuše. Mikroekonomie: základní kurs. 11. vyd. Slaný: Melandrium, 2010. ISBN 978-80-86175-70-6.
- [7] FRYDRYCH, M. Posouzení provozní spolehlivosti a nákladů na údržbu elektrobuse SOR: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2014, 55 s. Vedoucí práce: FAMFULÍK, J.
- [8] VINTR, Z., HOLUB, R. Základy spolehlivosti, Brno: vojenská akademie, 2002.
- [9] LITSCHMANNOVÁ, M. Úvod do statistiky [online], [cit. 2016-05-08]. VŠB-TU Ostrava, Ostrava, 2011, 379 s. Dostupné z: http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/uvod_do_statistiky.pdf
- [10] NIST/SEMATECH, e-Handbook of Statistical Methods, [online], [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35g.htm>
- [11] SCHWARZ, K., ŠKROBAL, D., Katalog náhradních dílů 954. VKV Praha s.r.o., 2008.
- [12] ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA, katedra matematiky, fyziky a technické výchovy, Kritické hodnoty pro test dobré shody Kolmogorov-Smirnov [online], [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://www.kmt.zcu.cz/person/Kohout/info_soubory/letnisem/ruzne/KSjednovyber.pdf

Seznam příloh

Příloha A – Kritické hodnoty testu Kolmogorov-Smirnov

Příloha B - Schéma vodního a odpadního hospodářství modulu

Příloha C – Výchozí data pro výpočty (elektronicky)

Příloha D – Odhady W2P

Příloha E – Odhady W3P

Příloha F – Odhady EX

Příloha G – Kompletní výpočty rozdělení pravděpodobnosti (elektronicky)

Příloha H – Výstupy softwaru (elektronicky)

Příloha I – Optimalizace údržby

Příloha J – Výpočet LCC a plán preventivní údržby (elektronicky)

Všechny přílohy jsou umístěny na multimediálním nosiči CD, který je součástí diplomové práce.

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Janu Famfulíkovi, Ph.D. za pomoc při vedení diplomové práce. Mé poděkování patří též Ing. Vítu Frimlovi a Ing. Danu Škrobalovi ze společnosti VKV Praha s.r.o z pracoviště Studénka za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při odborných konzultacích.